



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA – CAMPUS I
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

ADRIANA DE SOUZA NASCIMENTO

**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: ESTUDO E VIABILIDADE NO
NORDESTE BRASILEIRO**

**João Pessoa
2015**

ADRIANA DE SOUZA NASCIMENTO

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: ESTUDO E VIABILIDADE NO NORDESTE BRASILEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Gestão Energética

Subárea: Tecnologia, Trabalho e Organizações

Orientador: Prof. Ricardo Moreira da Silva, Dr

Coorientador: Prof. Miguel Otávio Barreto Campelo de Melo, Dr

**João Pessoa
2015**

N244e Nascimento, Adriana de Souza.
Energia solar fotovoltaica: estudo e viabilidade no nordeste brasileiro / Adriana de Souza Nascimento.- João Pessoa, 2015.
145f.
Orientador: Ricardo Moreira da Silva
Coorientador: Miguel Otávio Barreto Campelo de Melo
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT
1. Engenharia de produção. 2. Energia solar fotovoltaica.
3. Viabilidade técnica e econômico - estudo. 4. Micro e mini
geração distribuída. 5. Sustentabilidade.

UFPB/BC

CDU: 62:658.5(043)

ADRIANA DE SOUZA NASCIMENTO

**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: ESTUDO E VIABILIDADE NO
NORDESTE BRASILEIRO**

Dissertação julgada e aprovada em 26 de Fevereiro de 2015 como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal da Paraíba.

BANCA EXAMINADORA

Ricardo Moreira da Silva, Dr.
Orientador – UFPB

Miguel O. B. C. Melo, Dr.
Coorientador – UFPB e UFCG

Márcio Botelho da Fonseca Lima, Dr.
Examinador Interno - UFPB

Methódio Varejão de Godoy, Dr.
Examinador externo - UPE

**João Pessoa
2015**

Aos meus pais Adjany Souza
e Francisco Nascimento.
Todo o meu amor.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me proporcionado vida e saúde para realização desse projeto.

A minha mãe, Adjany Souza, meu infinito agradecimento. Se hoje sou o que sou, e tenho o que tenho, foi através dela que sempre lutou de forma incansável a fim de me proporcionar os melhores estudos e meu deu todo o apoio possível nos piores e melhores momentos já vividos. Só nós sabemos. Amo-te infinitamente meu Sol. Obrigada por ser a minha mãezinha.

A meu pai, Francisco Canindé. Meu mais profundo amor. Obrigada por tudo.

A minha irmã Andreia Guimarães, minha fiel e escudeira parceira. Meu profundo agradecimento por me conduzir nos melhores caminhos sempre da melhor maneira e de ter me proporcionado o presente de ser a tia de Lara.

A Rodrigo Barbosa. Obrigada por ser tão importante em minha vida. Juntos, iremos longe.

As minhas tias, primos e primas, o meu amor por vocês.

Aos meus amigos sempre presentes: Utaiguara, Thiago e Marivaldo. Vocês foram essenciais para minha vitória.

As minha amigas de sempre, que mesmo de longe, sei que sempre estiveram na torcida organizada, de preferência na primeira fileira, por meu sucesso: Catarina Beck, Danielle Dorand e Roseane Araújo.

As minha amigas e amigos de mestrado. Foram tantos sorrisos, tantas conversas, tantas emoções, ensinamentos, alegrias, compartilhamento de vitórias, preocupações, noites sem dormir, incertezas. A vocês aquele abraço bem apertado: Adriano, Christiano, Tatiana Rita, Eufrásio, Altemir, Crisoleide, Denilson, Denise Dantas, Felipe Tomé, Flávio Maracajá, Janiscea, Jeane, Johnatan, Joseana Celiza, Nayara, Tati Régis, Nayane, Wilza, Ana Nery, Daniel Cruz, Smalya. Em especial a Patrícia Meira. Obrigada pela força, incentivo de sempre e amizade.

Ao meu orientador Ricardo Moreira da Silva. Obrigada por acreditar em meu potencial e me fazer sentir cada dia mais especial. Sou grata por todos os

conselhos e ensinamentos dados nesta trajetória e por ter me acompanhado desde o início me apoiando nos piores e melhores momentos. Uma pessoa admirável em sua forma de ver o mundo. A você minha total admiração.

Ao meu coorientador Miguel Melo. Parceiro de trabalho e um grande amigo. A você meu muito obrigado. Tantos momentos, ensinamentos, viagens, tensões, alegrias, tristezas e superações. Obrigada por tudo.

Ricardo e Miguel, vocês foram e são referências profissionais e pessoais para meu crescimento.

A todos os professores (as) do Departamento do Programa de Pós Graduação de Engenharia de Produção. Em especial um grande abraço a querida Ana Araújo, que sempre me ajudou e me aconselhou nos momentos mais importantes vividos no tempo do mestrado. Meu muito obrigado.

A CAPES e ao CNPq pelo auxílio financeiro que possibilitou a realização deste trabalho.

Finalmente, gostaria de agradecer a Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF), Arena Pernambuco, Erick Sidrone e aos Professores Sérgio Campello do Portal Tecnologia e Methódio Godoy. Ajudaram-me a realizar este sonho de produzir esta DISSERTAÇÃO.

RESUMO

A energia solar tem se mostrado economicamente promissora, ambientalmente correta e uma das mais importantes fontes de energias renováveis. O grande potencial Solar no Brasil e as novas regras do setor elétrico favorecem a geração distribuída no país. Logo, as energias provenientes das células fotovoltaicas veem experimentando um forte crescimento no que diz respeito à tecnologia e progresso no mundo. Colaborando para isso, recentemente, a resolução n.482, emitida pela ANEEL em abril de 2012, é tida como um grande estímulo servindo de primeiro passo para o avanço a programas de incentivo às fontes de energias elétricas. Esta norma favorece e estabelece as condições gerais para o acesso de micro e mini geração distribuída e dá o direito do consumidor fazer uso, a seu critério, de um dos tipos desta geração. Essa política tende a estimular os pequenos geradores e muda totalmente o panorama do setor elétrico brasileiro, pois permite o acesso à geração em todos os níveis da cadeia produtiva do setor elétrico (distribuição, subtransmissão e transmissão), podendo ser um impulsionador para a geração solar no país. O presente projeto de pesquisa objetivou estudar e analisar a viabilidade do uso da energia solar fotovoltaica no nordeste do Brasil, apresentando os principais desafios relacionados à sua implementação, vantagens, demonstrando como as modificações no ambiente regulatório têm influenciado a evolução e o desenvolvimento da geração solar no país. O procedimento metodológico que conduziu esta pesquisa foi o estudo multicaso, através do EVTE, baseado em indicadores de análise de investimento. A pesquisa foi realizada em três segmentos distintos, com centrais de: 117,6 Quilowatt pico (kWp), 352,8kWp e 1Megawatt (Mw) respectivamente. Como conclusão, esta pesquisa mostrou que os benefícios da inserção da energia solar na matriz elétrica brasileira promovem o desenvolvimento sustentável e a geração de energia limpa de forma competitiva, dentro do novo contexto do setor elétrico, além do fato de que atualmente é totalmente viável investir nesta tecnologia.

Palavras Chave: Energia Solar Fotovoltaica; Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica; Micro e Mini Geração Distribuída; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Solar energy has shown promise, environmentally correct and one of the most important sources of renewable energy. The Solar great potential in Brazil and the new rules of the electricity sector favor distributed generation in the country. Soon, the energies from the photovoltaic cells see experiencing strong growth with regard to technology and progress in the world. Contributing to this, recently, the resolution 482, issued by ANEEL in April 2012 is taken as a big stimulus serving as first step to advance the incentive programs the electrical energy sources; This standard encourages and establishes the General conditions for the access of micro and mini distributed generation and gives the consumer's right to make use, at its discretion, to one of the types of this generation. This policy tends to stimulate the small generators and totally changes the panorama of the Brazilian electric sector, because it allows the access to generation at all levels of the production chain of the electric sector (distribution, sub-transmission lines and transmission), and can be a booster for solar generation in the country. This research project aimed to study and analyze the feasibility of the use of photovoltaic solar energy in Northeast Brazil, presenting the main challenges related to implementation, advantages, demonstrating how the changes in the regulatory environment have influenced the evolution and development of solar generation in the country. The methodological procedure that led this research was the multicase study: through the EVTE based on indicators of investment analysis. The survey was conducted in three distinct segments, with Central: 117, 6kWp, 352, 8kWp and 1Mw respectively. In conclusion, this study showed that the benefits of the integration of solar energy in the Brazilian electric matrix promote sustainable development and clean energy generation competitively, within the new context of the electric sector, and currently is completely viable to invest in this technology.

Key Words: *Photovoltaic Solar Energy; Technical and Economic Feasibility Study; Micro and Mini Distributed Generation; Sustainability.*

LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
ABRADEE - Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BNB – Banco do Nordeste
CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
COGEN - Associação da Indústria de Cogeração de Energia
CO₂ - Dióxido de Carbono
CdTe – Telureto de Cadmio
CIGS – Disseleneto de Índio e Gálio
CRESESB - Centro de referência para Energia Solar e Eólica
CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CIGS - Cobre índio, gálio e selênio
EUA – Estados Unidos da América
EVTE - Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
FIT – *Feed in tariff*
FV – Fotovoltaica
FCO - Fundos Constitucionais do Centro- Oeste
FIFA - Federação Internacional de Futebol
FNE – Fundos Constitucionais do Nordeste
FNO - Fundos Constitucionais do Norte
GWh – *Gigawatt* – hora
ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços
IEA – *International Energy Agency*
IUV - Fluxo de radiação ultravioleta
kW - Quilowatt
kWp - Quilowatt-pico
MME – Ministério de Minas e Energia
MtCO₂-eq – *Metric tons of carbon dioxide equivalent*
MW – *Megawatt*
MJ – *Mega Joules*
NASA - *National Aeronautics and Space Administration*
NREL - National Renewable Energy Laboratory
ONU – Organização das Nações Unidas
PNE – Plano Nacional de Energia

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PURPA - Public Utility Regulatory Policies Act

PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

PRODEEM - Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios

PIB – Produto Interno Bruto

ROI – *Return on investment*

SIG – Sistema de Informação Geográfica

Si – Silício

SiO₂ – Óxido de Silício

SSE - *Surface meteorology and Solar Energy*

TIR – Taxa interna de retorno

TUST - Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão

TUSD – Tarifas de uso do Sistema de Distribuição

TMA – Taxa mínima de atratividade

UE – União Europeia

UV- Radiação Ultravioleta

USF – Unidade Solar Fotovoltaica

VPL – Valor Presente Líquido

kW - *Quilowatt*

WEO – *World Energy Outlook*

Wp – Watt- pico

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Emissões totais (2013) em Mt CO ₂	20
Figura 2 – Capacidade Instalada.....	21
Figura 3- Participação de renováveis na matriz energética.....	22
Figura 4 - Queda nos custos dos sistemas fotovoltaicos	23
Figura 5 - Projeção: Mercado fotovoltaico interno em MW	24
Figura 6 - Capacidade instalada.....	26
Figura 7 - Potencial hidrelétrico no Brasil.....	27
Figura 8 - Brasil: Consumo de eletricidade na rede (GWh)	28
Figura 9 - Projeção futura global de geração de energia (2010 – 2035)	29
Figura 10 - Curva de aprendizado tecnológico para módulos FV (GW)	30
Figura 11 - Relação entre agentes e consumidores do setor elétrico	35
Figura 12 - Ciclo da energia	36
Figura 13 - Fontes não renováveis.....	38
Figura 14 - Fontes renováveis.....	38
Figura 15 - Consumo de energias renováveis em 2010	40
Figura 16 - Sistema FV: Equipamentos de interface com a rede elétrica.....	43
Figura 17 - Geração distribuída.....	44
Figura 18 - Instalação no Solo e Instalação em Poste	45
Figura 19 - Instalação em Telhado e Fachada.....	45
Figura 20 - Instalação em Toldo.....	46
Figura 21- Sistema FV ON – GRID	46
Figura 22 - Sistema FV OFF – Grid.....	47
Figura 23 - Evolução de preços (atacado) de painéis fotovoltaicos em 2011	49
Figura 24 - Capacidade total mundial de energia solar fotovoltaica	51
Figura 25 - Capacidade Instalada Acumulada em 2012 (MW)	52
Figura 26 - Capacidade instalada Alemanha	52
Figura 27 - Países com políticas energéticas.....	53
Figura 28 - Geração Fotovoltaica: Capacidade instalada.....	55
Figura 29 - Irradiação solar no Brasil	64
Figura 30 - Variação de radiação solar no Brasil.....	64
Figura 31 - Projeção: Capacidade Instalada (2009 – 2017)	67
Figura 32 - Células solares de Silício Mono cristalino, Silício Poli cristalino, Silício Amorfo, de CdTe e de Filme fino com encapsulamento flexível, respectivamente.....	67
Figura 33 - Cadeia produtiva e seus principais produtos	68
Figura 34 - Relação da pureza do Silício com o custo de produção	70
Figura 35 - Custos módulos (euros por Watt).....	71
Figura 36 - Custos inversores (Euros por Watt)	71
Figura 37 - Custo de Produção. FV x Irradiação Solar (Quanto mais fria a cor, menor o custo).....	72

Figura 38 - Destino das parcelas da radiação solar ao entrar em contato com um módulo fotovoltaico convencional	75
Figura 39 - Estrutura de suporte – tipos de eixos.....	77
Figura 40 - Etapas de fabricação da célula fotovoltaica de Silício.....	81
Figura 41 - Sistema de amortização constante	89
Figura 42 - Equação: Cálculo VPL.	90
Figura 43 - Condução do estudo de caso	94
Figura 44 - Localização: Santa Rita - PB	95
Figura 45 - Evolução da carga do Estado da Paraíba.....	96
Figura 46 - Localização: Caruaru - Pernambuco.....	96
Figura 47 - Evolução da carga do Estado de Pernambuco	97
Figura 48 - Localização: Dix Sept Rosado - RN.....	97
Figura 49 - Evolução da carga do Estado do Rio Grande do Norte	98
Figura 50 - Etapas da pesquisa.....	99
Figura 51 - IAPE - Usina Fotovoltaica	102
Figura 52 - Painéis Solares do Sistema Central.....	103
Figura 53 - Demonstrativo de Geração Estimada da USF 2014	104
Figura 54 - Influência da USF no Consumo de Energia	104
Figura 55 - Diagrama Unifilar geral - Arena Pernambuco	105
Figura 56 - Diagrama Unifilar simplificado Arena PE	106
Figura 57 - Exemplo de Transpaleteira elétrica.....	108
Figura 58 - Análise de Sensibilidade ao Aumento da Tarifa de Energia Elétrica <i>Case I</i>	112
Figura 59 - Análise de Sensibilidade ao Aumento da Tarifa de Energia Elétrica <i>Case II</i>	117
Figura 60- Análise de Sensibilidade ao Aumento da Tarifa de Energia Elétrica <i>Case III</i>	123
Figura 61 - Desenho geral de implantação - Arena Pernambuco.....	146

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Desenvolvimento e instalação.....	48
Tabela 2 - Relação entre material, custo e eficiência para as células fotovoltaicas de Silício	73
Tabela 3 - Eficiência de outros materiais na geração de energia solar	74
Tabela 4 - Etapas, reações e processos envolvidos na obtenção do Silício Grau Solar	79
Tabela 5 - Variáveis utilizadas para análise	93
Tabela 6 - Média de insolação anual na latitude de João Pessoa/PB. (kWh / m ² / dia)	108
Tabela 7 - Estudo de Viabilidade <i>Case I</i>	109
Tabela 8 - Estudo de viabilidade Via Financiamento BNB – FNE Verde <i>Case I</i>	111
Tabela 9 - Média de insolação anual na latitude de Caruaru/PE. (kWh / m ² / dia)	114
Tabela 10 - Estudo de Viabilidade <i>Case II</i>	115
Tabela 11 - Estudo de viabilidade Via Financiamento BNB – FNE Verde <i>Case II</i>	116
Tabela 12 - Média de insolação anual na latitude de DixSept Rosado - RN. (kWh / m ² / dia).....	119
Tabela 13 - Estudo de Viabilidade <i>Case III</i>	120
Tabela 14- Estudo de viabilidade Via Financiamento BNDES - Fundo Clima <i>Case III</i>	121
Tabela 15 - Quadro resumo dos <i>Cases I, II e III</i>	124
Tabela 16 - Conclusão dos EVTE's.....	126
Tabela 17 - Fluxo de Caixa <i>Case I</i>	143
Tabela 18 - Fluxo de caixa <i>Case II</i>	144
Tabela 19 - Tabela Fluxo de caixa <i>Case III</i>	145

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	15
1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA.....	20
1.2 JUSTIFICATIVA	25
1.3 OBJETIVO GERAL	32
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	32
2 ANÁLISE TEÓRICA	33
2.1 CADEIA DE VALOR DO SISTEMA ELÉTRICO E O MEIO AMBIENTE	33
2.2 FONTES DE ENERGIA	37
2.3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	40
3 ESTADO DA ARTE DA ENERGIA SOLAR.....	48
3.1 A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	48
3.2 O USO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO MUNDO	50
3.3 POLÍTICA ENERGÉTICA SOLAR NO MUNDO	53
3.4 POTENCIAL DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL	62
3.5 TECNOLOGIA UTILIZADA PARA O USO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	66
4 EVTE – ESTUDO DE VIABILIDADE TECNICO ECONÔMICA.....	82
4.1 VARIÁVEIS TÉCNICAS E ECONÔMICAS ANALISADAS.....	83
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	92
5.1 NATUREZA E CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	92
5.2 FERRAMENTA EVTE.....	92
5.3 METODOLOGIA ADOTADA NA PESQUISA.....	93
5.4 ÁREA E AMBIENTE DA PESQUISA.....	94
5.5 ETAPAS DA PESQUISA	99
6 ESTUDOS DE CASOS	100
6.1 ARENA PERNAMBUCO.....	102
6.2 INDÚSTRIA DE CALÇADOS	107
6.3 EMPRESA DE SERVIÇO EDUCACIONAL	114
6.4 MINERADORA	119
6.5 TABELA RESUMO DOS ESTUDOS.....	124
7 CONCLUSÕES.....	125
8 REFERÊNCIAS.....	128
9 SITES CONSULTADOS	134
10 ANEXOS	135
10.1 RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012	135
10.2 RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 481, DE 17 DE ABRIL DE 2012	142
10.3 TABELA FLUXO DE CAIXA CASE I	143
10.4 TABELA FLUXO DE CAIXA CASE II	144
10.5 TABELA FLUXO DE CAIXA CASE III.....	145
10.6 DESENHO GERAL DE IMPLANTAÇÃO (ARENA PERNAMBUCO)	146

1 - INTRODUÇÃO

Em uma época onde cresce a preocupação com o meio ambiente, a energia solar ganha notoriedade, haja vista que, reconhecidamente faz parte das energias limpas e renováveis.

A energia é um dos principais vetores influentes na questão ambiental e está no centro das discussões globais que originaram o conceito de desenvolvimento sustentável, cuja implementação tem sido talvez, o maior desafio atual da humanidade (REIS, 2006).

O crescente aumento no consumo de energia elétrica tem exigido uma considerável ampliação na capacidade de geração e melhoria de eficiência energética, com a finalidade de atender a demanda. E uma das funções da eficiência energética é contribuir para que a redução de perdas atue como um fator compensador na ampliação da matriz energética brasileira, ou seja, o uso racional de energia posterga a necessidade de novas fontes geradoras, o que minimiza a degradação ambiental.

Essencial ao bem-estar, tanto econômico como social das populações, as exigências são cada vez maiores em relação ao seu uso em nível mundial, pois, obrigam a utilização crescente dos recursos energéticos, com consequências devastadoras para o ambiente. Uma das consequências mais danosas é o aumento dos gases do efeito estufa, que apresenta origem nas elevadas emissões de alguns gases para a atmosfera terrestre, resultantes da combustão de recursos fósseis, como o petróleo ou o carvão.

Ressalta-se que o efeito estufa dentro de uma determinada faixa é de vital importância, pois, sem ele, a vida não poderia existir. Serve para manter o planeta aquecido, e, assim, garantir a manutenção da vida. Mas, se, por um lado, o efeito de estufa mantém a superfície da Terra aquecida e com uma temperatura amena, por outro, a excessiva concentração de dióxido de carbono e outros gases na atmosfera terrestre reduzem a liberação de calor para o espaço, provocando um aumento médio da temperatura e um aquecimento do Planeta.

As consequências deste aquecimento tornam-se também cada vez mais evidentes ao nível das alterações climáticas globais e regionais, verificadas ao longo

das últimas décadas, pois a humanidade vive um momento de realizar novas escolhas para garantir o futuro do planeta. E, dessas escolhas, surge o desenvolvimento sustentável, ganhando cada vez mais força, entre as diversas correntes da sociedade, passando a ser sinônimo de equilíbrio e bem estar para a vida do planeta.

Segundo Martins e Cândido (2010), o modelo de desenvolvimento sustentável adotado nos últimos tempos, baseado no crescimento das relações de produção e consumo, tem como principais implicações o aumento da poluição e aumento nos níveis de desigualdade social e de concentração de riquezas. Como decorrência dessa situação, surge o conceito de sustentável, sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, os quais procuram reduzir tais implicações, a partir do entendimento das fragilidades do modelo vigente e da emergência da necessidade de uma nova concepção de desenvolvimento de forma equilibrada e equitativa.

A sustentabilidade significa a possibilidade de se obterem condições iguais ou superiores de vida em dado ecossistema continuamente, visando à manutenção do sistema de suporte da vida. Sendo assim, relaciona-se com a melhor qualidade da vida das populações, a partir da capacidade de suporte dos ecossistemas (CÂNDIDO, 2010).

Segundo o aludido autor, entre os muitos pensamentos sobre pensar a sustentabilidade, pode-se entender a Sustentabilidade como condição ou o resultado de equilíbrio das relações entre uma determinada sociedade humana e o meio natural em que ela vive e se organiza, de modo que as demandas e ofertas recíprocas atendam as necessidades dos ecossistemas naturais e sociais sem prejuízo das gerações futuras, dos sistemas vivos e dos ecossistemas do planeta Terra.

Pode-se ainda deduzir que sustentabilidade é considerada a palavra chave para todo empreendimento, todo processo produtivo e toda solução urbana deste século 21.

Para alguns, alcançar o desenvolvimento sustentável é obter o crescimento econômico contínuo através de um manejo mais racional dos recursos naturais e da utilização de tecnologias mais eficientes e menos poluentes. Para outros, o desenvolvimento sustentável é antes de tudo um projeto social e político destinado a

erradicar a pobreza, elevar a qualidade de vida e satisfazer às necessidades básicas da humanidade, que oferece os princípios e orientações para o desenvolvimento harmônico da sociedade, considerando a apropriação e a transformação sustentável dos recursos ambientais (ALVES; OLIVEIRA, 2013).

Em 1987, o Relatório da Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento da ONU, conhecido como “Relatório Brundtland”, popularizou o termo Desenvolvimento Sustentável e estabeleceu a definição clássica para o desenvolvimento sustentável como sendo “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”.

A aceitação do relatório pela Assembleia Geral da ONU deu ao termo relevância política e, em 1992, na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, a Rio 92, os chefes de Estado presentes definiram os princípios do desenvolvimento sustentável (UCZAR, 2012).

As diretrizes apontadas pelo Relatório mostram que o desenvolvimento tecnológico e científico deve estar baseado na preocupação com a preservação ambiental e dos recursos naturais disponíveis na sociedade, de forma a reverter às projeções atuais de situações críticas no uso dos potenciais hídricos, energéticos e da destinação dos resíduos sólidos por meio de um conjunto de estratégias e procedimentos.

Segundo Uczar (2012), a opção pela energia renovável decorre, entre outras coisas, dos efeitos nocivos das mudanças climáticas, da necessidade de segurança energética e da preferência pelo desenvolvimento sustentável. Logo, devido a este cenário, a adoção de energias alternativas tem sido amplamente procurada desde o início da década de 70. Com a crise do petróleo o mundo começou a procurar segurança no fornecimento energético e na redução da dependência da importação de energia.

Então, juntamente com a crise, as preocupações ambientais fizeram com que a procura de fontes alternativas e mais limpas de produção de energia fossem ampliadas. Dentre essas alternativas, a Energia Solar é uma das que vem apresentando significativa atenção.

Este tipo de energia reduz as linhas de transmissão de redes elétricas tradicionais, não emite gases tóxicos na atmosfera, não esgota os recursos naturais, aumenta a independência energética nacional/regional, além de diversificar e assegurar o abastecimento energético. Portanto, a energia solar tem se mostrado ambientalmente vantajosa em relação a qualquer outra fonte de energia, tornando-se, assim, a peça fundamental de qualquer programa de desenvolvimento sustentável (TSOUTOS, 2005).

Dentre as chamadas fontes alternativas ou renováveis de energia, a proveniente do Sol destaca-se devido à abundância do recurso (RUTHER, 1999). De modo que, segundo a Aneel (2008), entre os anos de 1973 a 2006, foi aumentada em 500% a sua participação na matriz energética mundial.

De acordo com Dyson (2011), a energia solar é uma das fontes de energia mais limpas e não faz comprometer ou adicionar o aquecimento global. O sol é a fonte de energia renovável, e o aproveitamento dessa energia, tanto como fonte de calor quanto de luz, é uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentar os desafios do novo milênio.

Com grande potencial futuro, a produção de energia solar por meio das células fotovoltaicas pode gerar cerca de menos de 1% da oferta total de eletricidade, isto devido a ser ainda considerado o tipo de energia renovável mais cara (EREC, 2005).

Todavia, vem experimentando um forte progresso tecnológico no mundo nos últimos anos. Acentuado a partir de 2004, esse desenvolvimento é reflexo do crescimento exponencial dos volumes de produção e de instalação fotovoltaica e na redução do custo dessa fonte, ocasionada pelos programas de incentivos para a geração fotovoltaica no mundo (A CARTA DO SOL, 2011).

Na Alemanha, por exemplo, apesar de utilizar, predominantemente, combustíveis fósseis, o país é um dos países que concentra maiores esforços e tem empreendido propósitos de elevar a participação das fontes renováveis em sua matriz energética.

Já na Espanha, as principais fontes de energia que o país utiliza são o petróleo e o gás natural, mas, assim como a Alemanha, tem tido uma estratégia de

aumentar a participação das fontes renováveis, tendo também obtido sucesso nesse objetivo (UCZAR, 2012).

Comparado com esses países, o Brasil, sobretudo a região Nordeste, apresenta os maiores valores de irradiação solar global, logo, reconhecendo as suas vantagens, mas também os seus desafios, cabe ao Estado, em sua função de planejador, encontrar os meios de incentivar a tecnologia solar para que esta possa contribuir para o objetivo nacional de desenvolvimento econômico e de sustentabilidade da matriz energética (EPE, 2012).

Ressalta-se que independente do incentivo ou não do Governo, o uso deste tipo de tecnologia é absolutamente viável.

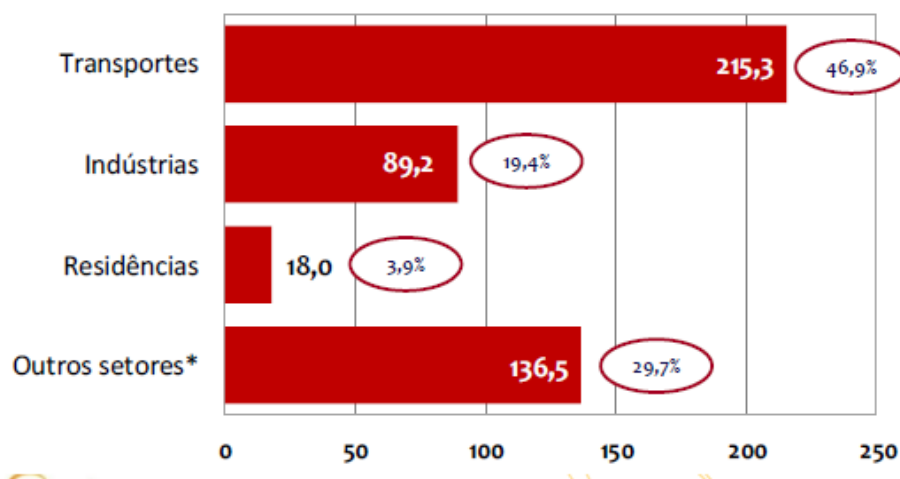
A produção de energia elétrica fotovoltaica tem muitas nuances a serem consideradas. Nesse contexto, esse estudo compreende uma análise global desta fonte de energia promissora. E, para o auxílio de comprovação da sua viabilidade utilizou-se o método EVTE - Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica, respaldando-se em indicadores utilizados como critérios de aceitabilidade e viabilidade de projetos.

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA

Segundo Melo *et al* (2010) a energia representa um insumo vital, que pode responder por até um terço do custo dos produtos. Também se pode considerar a energia como insumo estratégico para o estabelecimento de qualquer política de desenvolvimento econômico e social.

Em 2013, o total de emissões antrópicas associadas à produção e uso da energia na matriz energética brasileira atingiu 459,0 *Metric tons of carbon dioxide equivalent* (MtCO₂-eq) (EPE, 2014), tal fato é mostrado na Figura . O que confirma a necessidade de se produzir energia limpa cada vez mais, pois, só no ano de 2012, o total de emissão de CO₂ foi de aproximadamente 428,9 MtCO₂-eq, o que significou um aumento de quase 7 % em um período relativamente curto, conforme pode ser visto na Figura 1.

Figura 1- Emissões totais (2013) em Mt CO2



Fonte: EPE, 2014.

(*Inclui os setores agropecuário, serviços, energético, elétrico e as emissões fugitivas).

Como a energia elétrica está na base de toda a cadeia de produção industrial, agropecuária e também na prestação de serviços, a necessidade de reduzir o custo deste insumo é grande. Isto produz enormes benefícios não só para a cadeia produtiva tornando as empresas mais competitivas, mas também para a população em geral, pois os preços finais dos produtos acabam ficando mais reduzidos (MELO *et al.*, 2010).

Por outro lado, ressalta-se que todos os segmentos da sociedade devem contribuir efetivamente para uma melhoria do meio ambiente, pois os riscos devido

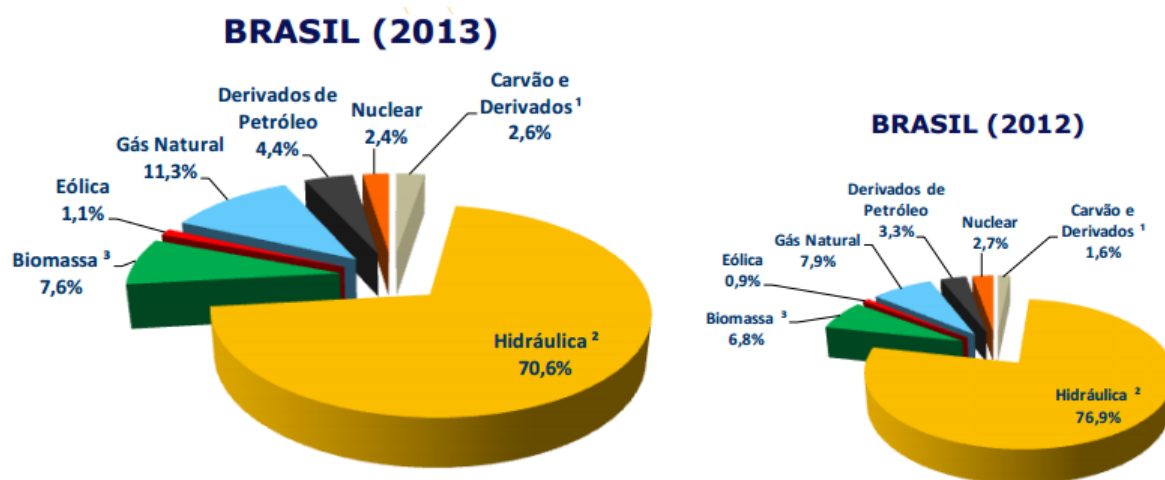
ao aquecimento global são reais e as atitudes e ações devem ser concretas, principalmente as referentes à conservação e eficiência da energia. Essa mudança de paradigma contribuirá substancialmente para as futuras gerações do planeta (MELO *et al.*, 2010).

Todavia, a preocupação com uma futura falta de energia para a humanidade persiste, bem como os impactos ambientais de muitas formas de captação da mesma, fato positivo e considerável, pois a energia solar é considerada acessível, abundante, corretamente ambiental e com mínimos riscos ecológicos associados à produção e uso, além de ser um dos fatores importantes para a melhoria desejada na qualidade de vida das pessoas (EPE, 2012).

Por isto a crescente escassez de combustíveis fósseis tem despertado o interesse mundial no aproveitamento da energia solar (HASNAIN, 1995). Segundo WEO (2013), as energias renováveis representarão praticamente metade do aumento da geração de eletricidade em 2035, e nestas, as fontes variáveis – energia eólica, solar e fotovoltaica – constituirão 45% da expansão das fontes renováveis.

Substancialmente, o setor elétrico, em nível global tem se adaptado a um novo modo de existência, com as energias eólica e solar (WEO, 2013). No Brasil, em 2012, a participação de renováveis na Matriz Energética Brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo, com pequena redução devido à menor oferta de energia hidráulica e de etanol, conforme a Figura 2.

Figura 2 – Capacidade Instalada

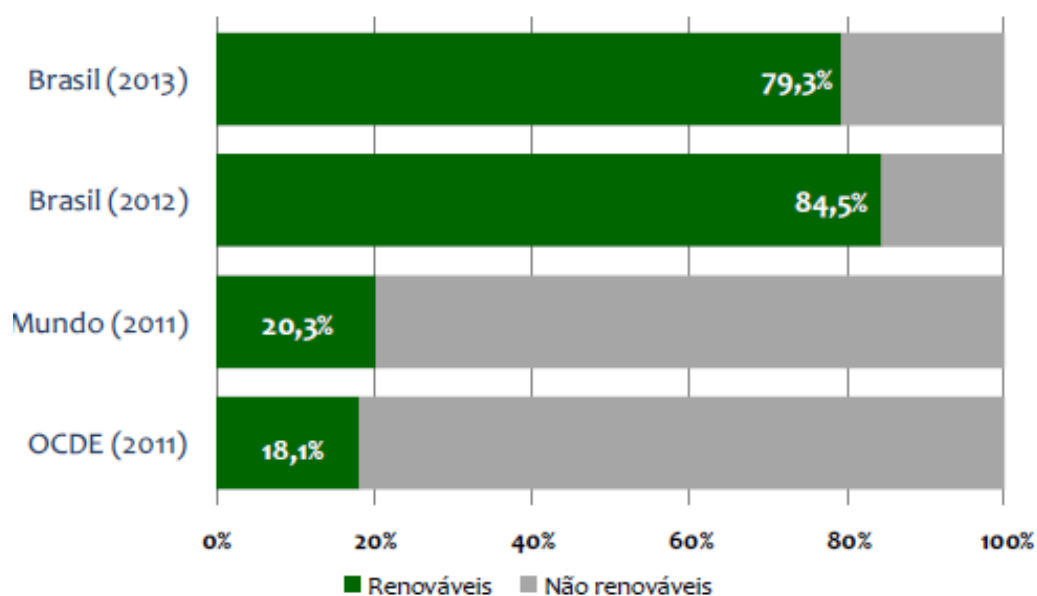


Fonte: EPE, 2014.

Diante deste cenário, as fontes renováveis de energia são apresentadas como a principal alternativa para atender as demandas da sociedade com relação à qualidade e segurança do atendimento da demanda de eletricidade, com a consequente redução dos danos ambientais decorrentes do consumo de energia. Por isso, diversos estudos realizados nos últimos anos têm apontado as implicações e impactos socioambientais do consumo de energia (MARTINS, 2008).

Por outro lado, segundo a Agência Internacional de Energia *apud* EPE (2014), em 2013, a participação de renováveis na matriz elétrica brasileira diminuiu para 79,3%, devido às condições hidrológicas desfavoráveis e ao aumento da geração térmica, conforme a Figura 3. Os reservatórios encontram-se cada vez mais assoreados, enquanto a necessidade do país é de uma demanda superior a cada dia.

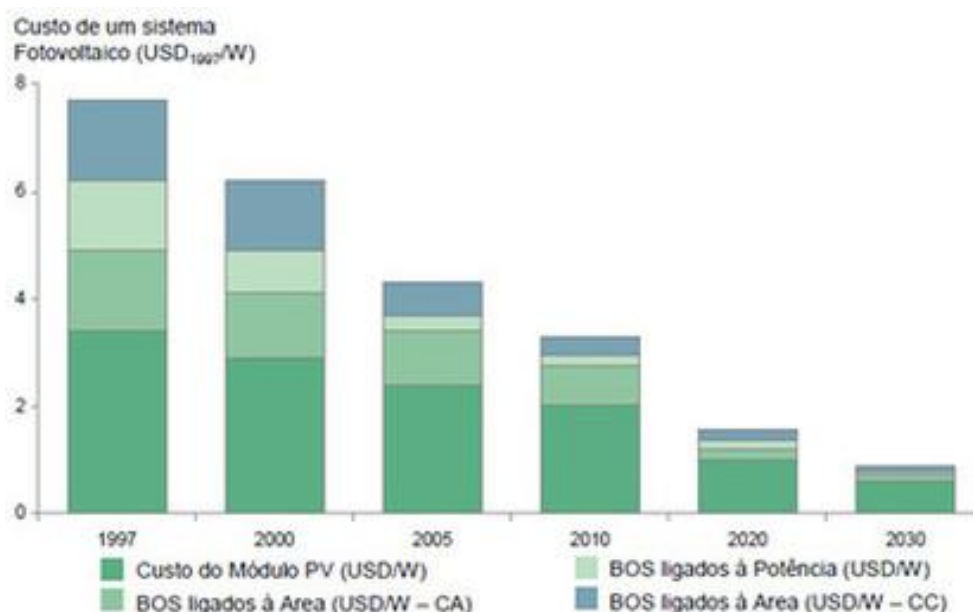
Figura 3- Participação de renováveis na matriz energética



Fonte: EPE, 2014.

Esse desenvolvimento é reflexo do crescimento exponencial dos volumes de produção e de instalação fotovoltaica (FV) e na queda do custo dessa fonte, ocasionada pelos programas de incentivos para a geração fotovoltaica no mundo, evidenciado na Figura 4.

Figura 4 - Queda nos custos dos sistemas fotovoltaicos



Fonte: EPE, 2013.

Colaborando para isso, recentemente ambas as resoluções normativas n.481 e n. 482 (ANEEL, 2012) estão sendo consideradas como um grande estímulo servindo de primeiro passo para o avanço a programas de incentivos as fontes de energias elétricas. Estas resoluções normativas favorecem e estabelecem as condições gerais para o acesso de micro e mini geração distribuída e dá o direito do consumidor fazer uso, a seu critério, de um dos tipos desta geração.

Essa política tende a estimular os pequenos geradores e muda totalmente o panorama do setor elétrico brasileiro, pois permite o acesso a geração em todos os níveis da cadeia produtiva (distribuição, sub transmissão e transmissão), podendo ser um impulsionador para a geração solar no país. Segundo Mazzucato (2014), o Estado vem desempenhando um papel importante na invenção da tecnologia, em seu desenvolvimento, sua produção bem – sucedida e sua implantação.

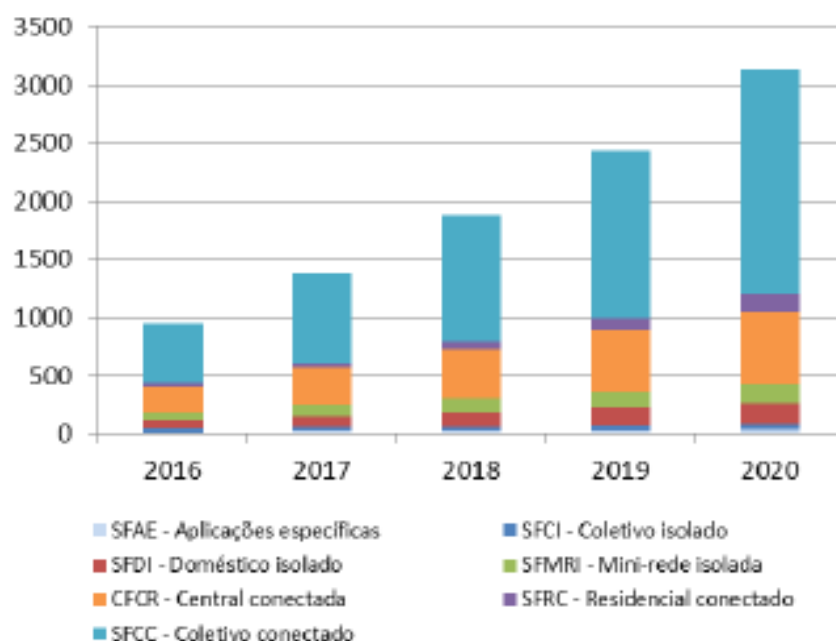
É notável que vá se tornando cada vez mais clara a oportunidade de explorar a energia fotovoltaica no Brasil, não apenas pela alta incidência de irradiação, que é sem dúvida um fator relevante, mas também pela firme trajetória de aumento de eficiência e queda dos custos de implantação de módulos e sistemas fotovoltaicos em nível internacional e nacional (A CARTA DO SOL, 2011).

Na verdade, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2012) classifica a geração solar em Mini e Micro geração, e o que as diferenciam são centrais

geradoras de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW ou com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW, e que utilizem fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da Agência, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Nesse contexto, o recente desenvolvimento da indústria de energia solar no Brasil pode ser explicado por determinados fatores importantes, com destaque para a capacidade instalada mundial que vem crescendo de forma exponencial, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Projeção: Mercado fotovoltaico interno em MW



Fonte: PROJETO CARTA DO SOL, 2011.

Levando em consideração as barreiras mencionadas e diante da necessidade de modernização para enfrentar novos desafios e superar algumas restrições, a problemática que envolve a energia solar norteadora dessa dissertação permite que sejam analisadas potenciais formas de alavancar esta fonte de energia que só tende a expandir-se diante do novo cenário do Setor Elétrico Brasileiro. O Brasil é privilegiado geograficamente, potencialmente favorável à sua disseminação, contudo ainda encontra-se em atraso em relação a diversos países nesse domínio.

1.2 JUSTIFICATIVA

A pesquisa envolvendo fontes de energias renováveis vem ganhando destaque uma vez que as fontes energéticas sofrem um processo de utilização acelerado e alteram o meio ambiente e a sociedade, e, ainda que, a energia solar na matriz energética brasileira encontra-se definida como “outras” fontes renováveis, o cenário neste setor vem mudando, pois, segundo o projeto Carta do Sol (2011), o Brasil caminha rumo à inserção de uma nova fonte na matriz de energia elétrica brasileira, sendo esta a Energia Solar.

As atuais fontes de energia mais utilizadas no mundo provêm do meio ambiente e são esgotáveis, sua produção é dividida entre fontes poluentes e fontes limpas. Uma fonte limpa busca a minimização das perdas e danos, seja na quantidade de resíduo, no impacto do meio ambiente, no representativo financeiro ou no impacto para a sociedade (SILVA, 2011). Fatores estes que tornam as fontes poluentes (como as de origem fóssil) cada vez mais mal vistas.

Segundo Brown (2003), a economia energética mundial está no limiar de uma grande transformação sendo vasto o potencial do Brasil em termos de expansão de fontes renováveis, que, tal como EPE (2012) afirma, tais fatores potencializam a atração de investidores e o desenvolvimento de um mercado interno, permitindo que se vislumbre um papel importante na matriz elétrica para este tipo de tecnologia.

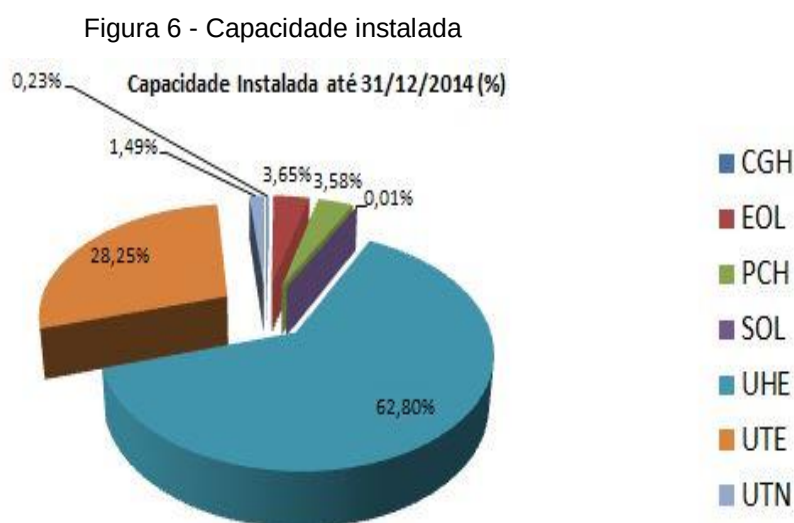
Mazzucato (2014) afirma que, nas últimas décadas, as turbinas eólicas e os painéis solares fotovoltaicos foram duas das tecnologias de energia renovável implantadas mais rapidamente em todo o planeta, provocando o surgimento de indústrias que se expandiram rápido em muitas regiões do mundo.

Somado a estes fatores, o setor elétrico brasileiro se destaca internacionalmente pela grande participação de fontes renováveis. De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN), em 2009 aproximadamente 89% da geração de energia elétrica foi proveniente de fontes renováveis, sendo aproximadamente 84% hidrelétrica. Já em 2014 o cenário foi diferente, atingindo um percentual mais baixo, com 76%, evidenciando assim uma urgência na busca por fontes alternativas.

Apesar desta característica já ser um fator positivo para o país, seja pela consequente baixa emissão de gases de efeito estufa seja pela menor dependência

de combustíveis fósseis, faz-se necessária uma manutenção de baixo conteúdo de carbono do parque gerador de energia elétrica, para que o país continue a crescer de forma sustentável (CARTA DO SOL, 2011).

Dados recentes do relatório de fiscalização da ANEEL (2015) apresentaram a atualização do Parque Gerador do Brasil até o dia 31 de dezembro do ano de 2014. A capacidade instalada no Brasil em 2014 chegou a 133,9 mil megawatts (MW), provenientes de 202 Usinas Hidrelétricas, 1935 termelétricas, 228 eólicas, 2 usinas nucleares, 487 Pequenas Centrais Hidrelétricas, 497 Centrais Geradoras Hidrelétricas e 311 usinas solares, conforme a Figura 6.

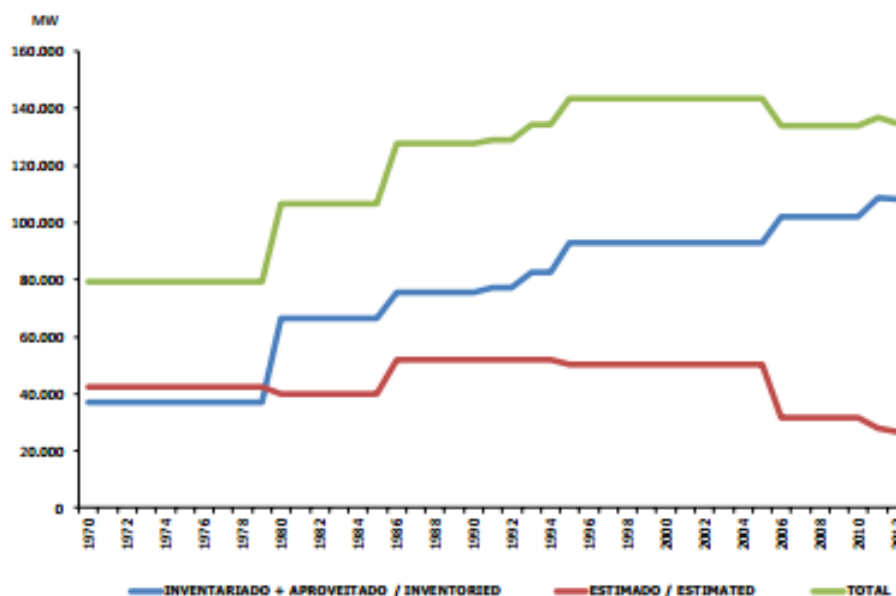


Fonte: ANEEL, 2015.

Contudo, nos últimos anos a energia solar fotovoltaica tem sido vista internacionalmente como uma tecnologia bastante promissora e as experiências internacionais apresentam importantes contribuições para análise sobre a expansão do mercado, ganhos na escala de produção e redução de custos para os investidores (VIANA, 2011).

Ainda segundo Viana (2011), a demanda mundial de energia primária é projetada em um cenário para expandir em quase 60% entre 2002 a 2030, tendo cerca de um aumento anual médio de 1,7% por ano. Segundo pesquisas, chegará ao equivalente a 16,5 bilhões de toneladas de petróleo em comparação com 10,3 bilhões em 2002. Entretanto, os combustíveis fósseis ainda continuarão a dominar o uso de energia global até meados de 2025.

Figura 7 - Potencial hidrelétrico no Brasil



Fonte: EPE, 2013.

Estes, ainda serão responsáveis por cerca de 85% do aumento da demanda primária no mundo inteiro. Sua participação na demanda total vai aumentar ligeiramente, de 80% em 2002 para 82% em 2030. Quando comparado com o todo, a participação das fontes renováveis de energia aumentará discretamente, em torno de 4%, enquanto que a energia nuclear vai cair de 7% para 5% (IEA, 2008).

Infelizmente, o esperado é que o petróleo continue a ser o maior combustível no mix global de energia primária, apesar de sua participação decair, segundo pesquisas, de 36% em 2002 para 35% em 2030 (IEA, 2008). De acordo com a previsão da Agência Internacional de Energia (IEA, Solar Roadmap Targets, 2009), a geração de eletricidade a partir de Energia Solar Fotovoltaica (ES-FV) atingirá 5% do consumo mundial em 2030 e 11% em 2050.

Nessa direção, pesquisas recentes realizadas pelo relatório anual *World Energy Outlook* – (WEO (2012)), afirmam que a necessidade de eletricidade nas economias emergentes impulsionará um aumento de quase 70% em todo o mundo. Para melhor visualização, a Figura 8 projeta um cenário de uso de diferentes fontes de energia entre os anos de 2010 até 2035. O que evidencia positivamente a crescente utilização de fontes de energias renováveis.

Entre os “Estudos de Energia”, destacam-se alguns que tratam a demanda de energia que subsidiam a elaboração do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) e do Plano Nacional de Energia de Longo Prazo (PNE). Tais estudos são importantes na avaliação das estratégias de expansão da oferta de energia no médio e no longo prazo (EPE, 2013).

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) relata a projeção do consumo de energia elétrica na rede, para o período 2013 – 2023, na Figura 8, dados estes que intensificam o crescente aumento da demanda de energia elétrica nos próximos 10 anos.

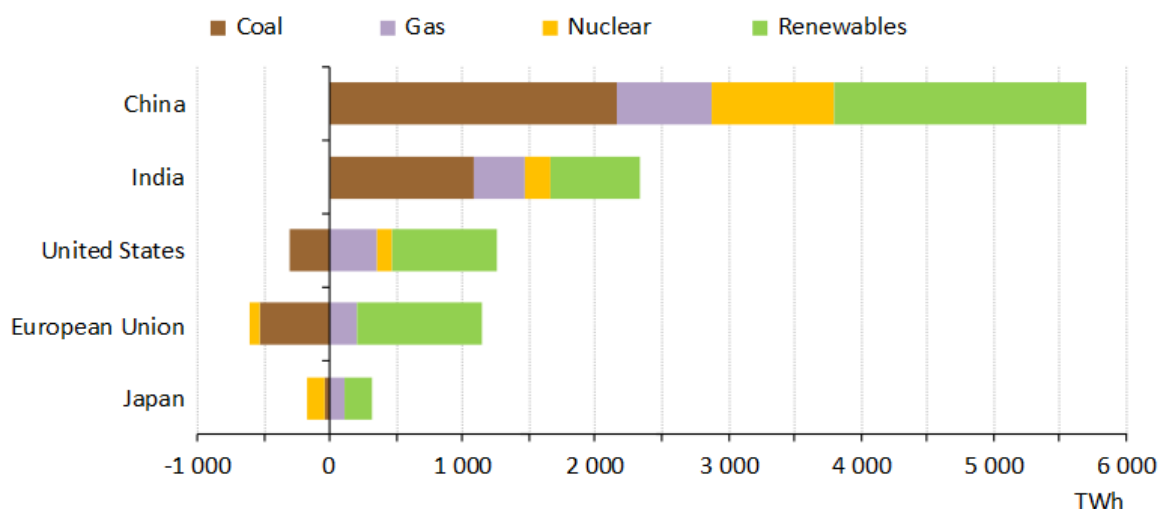
Figura 8 - Brasil: Consumo de eletricidade na rede (GWh)

Ano	Residencial	Industrial	Comercial	Outros	Total
2013	124.890	184.544	83.630	70.536	463.601
2014	129.983	191.333	87.378	72.691	481.385
2015	135.785	198.367	91.971	75.138	501.261
2016	142.078	205.600	97.179	77.800	522.657
2017	148.390	213.401	102.605	80.487	544.884
2018	154.879	222.148	108.359	83.271	568.657
2019	161.535	228.866	114.455	86.152	591.009
2020	168.368	236.013	120.914	89.131	614.426
2021	175.378	243.211	127.755	92.211	638.556
2022	182.568	250.009	134.997	95.395	662.969
2023	189.934	257.714	142.660	98.682	688.990
Variação (% ao ano)					
2013-2018	4,4	3,8	5,3	3,4	4,2
2018-2023	4,2	3,0	5,7	3,5	3,9
2013-2023	4,3	3,4	5,5	3,4	4,0

Fonte: EPE, 2013.

Segundo Varum *et al.* (2009), a energia é um elemento vital para o ser humano. Portanto, há necessidade de produção de energia elétrica em virtude de o consumo ser crescente em todo o mundo. Esta tendência de crescimento não mostra sinais de redução (Ver Figura 9): pelo contrário, a expectativa é a de que ela continue a crescer no futuro (MUNEER *et al.*, 2005).

Figura 9 - Projeção futura global de geração de energia (2010 – 2035)



Fonte: WEO, 2012.

Dessa forma, a busca da redução dos impactos ambientais no setor elétrico tem provocado mudanças nos governos e a utilização de novas estratégias com intuito de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e incentivar um novo desenvolvimento industrial (SILVA, 2011).

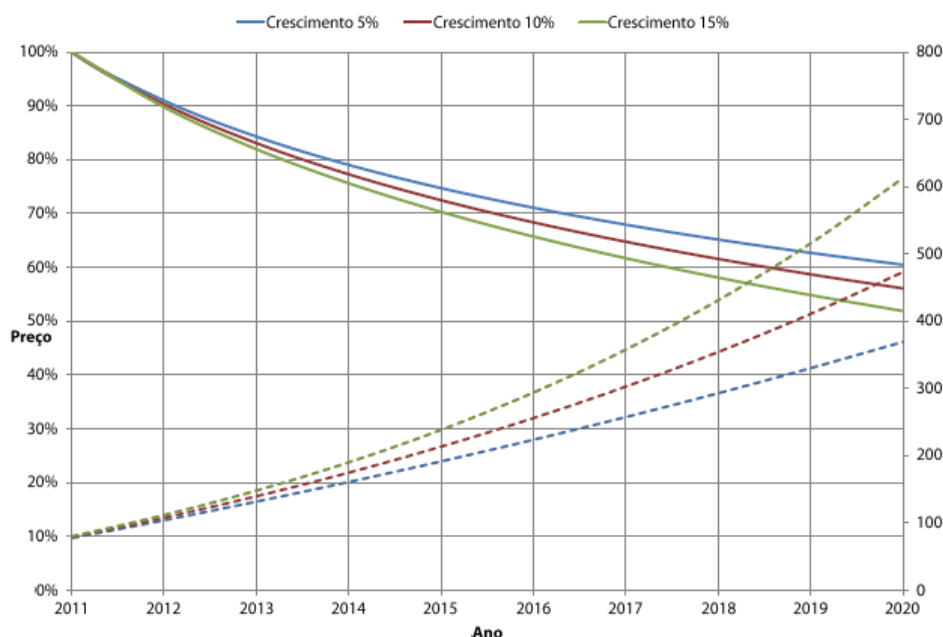
Em 2008 a ANEEL já afirmava que o preço dos painéis solares ou dos módulos fotovoltaicos apresentava uma tendência de queda nos últimos meses, implicando que o entendimento atual é aquele em que a geração distribuída estivesse cada vez mais próxima da viabilidade.

Documentos internacionais reportam que, para o ano de 2050, 50% da geração de energia no mundo virá de fontes renováveis. Dessa demanda, 25% serão supridos pela energia solar fotovoltaica. Populações do fim do século dependerão em até 90% das renováveis, dos quais 70% serão de fotovoltaica (CGEC, 2010).

Sendo assim, é possível observar na Figura 10, a relação linear entre os pontos da curva de aprendizado tecnológico, baseada em COGEN (2012). Onde afirma-se empiricamente que, a cada duplicação da capacidade global produzida (produção acumulada), o preço dos módulos diminui em 20%. O que evidencia ainda mais seu ganho de escala, ou seja, à medida que há um aumento de seu uso a consequência é a de que seus valores também tenham um decréscimo.

Nos últimos 30 anos, os preços dos módulos vêm diminuindo a uma taxa média de 8% ao ano, de tal maneira que se espera em 2020, que o consumo anual dos módulos varie entre 39 GW/ano e 97 GW/ano, e em 2020 o consumo acumulado variará entre 369 GW e 612 GW, uma diferença de 66% entre o cenário de maior e menor crescimento.

Figura 10 - Curva de aprendizado tecnológico para módulos FV (GW)



Fonte: COGEN, 2012.

Estudos do relatório da Associação da Indústria de Cogeração de Energia explicitam de forma bastante objetiva o enorme potencial de irradiação solar no país, bem como a redução dos custos dos sistemas FV, o que implica que, se isto ocorrer e o governo Brasileiro incentivar a cadeia de valor do sistema elétrico do país, as melhores regiões de irradiação do Brasil poderão atingir o patamar de custo de produção de 125 R\$/MWh, já bastante próximo a valores competitivos atualmente para fontes de geração.

Esta tendência de queda de preços só reforça a tese de que o Brasil precisa se preparar para a penetração da energia solar, alterando sua regulamentação, adequando seus procedimentos de rede e fomentando a indústria através de mecanismos fiscais, financeiros e regulatórios, de forma a se posicionar como um país pioneiro em termos de energia solar (COGEN, 2012).

Vale salientar que, mais recentemente, o Governo Federal voltou-se para este tipo de energia por consequência de uma crise hídrica, pois grande parte de hidrelétricas no país está funcionando a “Fio d’água”, ou seja, o nível das represas está a níveis críticos, e a matriz elétrica nacional passou a mostrar algumas limitações.

Assim, a escolha do tema surgiu por meio da necessidade pessoal em investigar e agregar contribuições para o aperfeiçoamento do uso eficiente de uma fonte renovável de energia no Brasil. O Brasil vive uma crise no setor elétrico e a busca de fontes renováveis consideradas alternativas têm sido um dos maiores desafios desta marcante fase do setor elétrico.

Portanto, dentre os aspectos elencadas anteriormente, se pretende, com esta pesquisa, responder à seguinte questão:

QUAL A VIABILIDADE DO USO DA ENERGIA SOLAR NO NORDESTE DO BRASIL?

Esta questão básica se desdobra em outras perguntas secundárias, cujas respostas ajudarão a detalhar e clarificar a questão principal:

- ❖ Como as modificações no ambiente regulatório, ao longo do tempo, têm influenciado a evolução e o desenvolvimento da geração Solar no país?
- ❖ Qual a viabilidade de implantação proveniente desta tecnologia?

1.3 OBJETIVO GERAL

- ❖ Analisar a viabilidade da Mini e a Micro geração da energia solar fotovoltaica no Nordeste brasileiro.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Pesquisar e analisar a aplicação de centrais fotovoltaicas em três estudos de casos diferenciados: Indústria de calçados, Serviço Educacional e Indústria Mineradora.
- ❖ Analisar aspectos econômicos e financeiros de viabilidade da aplicação de centrais fotovoltaicas utilizando indicadores de investimento: ROI, VPL, TIR e TMA.

2 ANÁLISE TEÓRICA

2.1 CADEIA DE VALOR DO SISTEMA ELÉTRICO E O MEIO AMBIENTE

Requisito básico de cidadania, o acesso à energia elétrica atualmente é um fator indiscutível. Sem a sua utilização o indivíduo torna-se marginalizado do que se entende por desenvolvimento. Nesse aspecto, levar eletricidade a aproximadamente 2 bilhões de pessoas que ainda não tem acesso a ela é um dos maiores desafios globais do século XXI, o que demonstra uma discrepância grandiosa das condições de sustentabilidade.

O suprimento eficiente e universal de energia é considerado condição básica para o desenvolvimento econômico, independentemente do conceito que se utiliza para desenvolvimento. Nesse contexto, o acesso de cada ser humano a uma quantidade mínima de bens energéticos adequados aos atendimentos de suas necessidades básicas deve ser considerado como requisito da sustentabilidade (REIS, 2006).

Segundo o autor acima citado, nos últimos anos, a questão energética assumiu posição central na agenda ambiental global, principalmente em razão do problema do aquecimento global que conduziu as negociações da convenção do clima, consubstanciadas principalmente no Protocolo de Kyoto. Isso porque a atual matriz energética mundial depende ainda, em quase 80%, de combustíveis fósseis. Por isso, a busca de maior eficiência energética e a transição para um uso maciço de recursos primários renováveis têm sido ressaltadas como soluções a serem buscadas no contexto de um modelo de desenvolvimento sustentável.

De acordo com Schettino (2013), a energia elétrica é um produto imprescindível para a sociedade atual para produzir luz, calor, movimento e outras formas de transformação energética. A indústria de energia elétrica, ou seja, os conjuntos de empresas que formam a cadeia dessa indústria são responsáveis pela geração, transmissão, distribuição e consumo de energia.

A cadeia de valor do setor elétrico é basicamente composta por geradores espalhados pelo país, que podem ser de diversos tipos de fontes (hidrelétrica, eólica, térmica e solar), pelas linhas de transmissão e de distribuição de energia e pelos consumidores. Todo o sistema é eletricamente conectado, exigindo o balanço

constante e instantâneo entre tudo o que é gerado e consumido (SCHETTINO, 2013).

Uma nova terminologia chamada *Smart Grid* tem sido constantemente citada como sendo mais uma solução para a indústria de eletricidade. Sendo considerada novidade no setor elétrico, a IEA (*International Energy Agency*, 2011), afirma que “uma *Smart Grid* é uma rede de eletricidade que usa tecnologia digital para monitorar e gerenciar o transporte de eletricidade a partir de todas as fontes de geração encontrando uma variedade de demandas e usuários, de forma a aperfeiçoar a utilização e operação dos ativos no processo, minimizando os custos e impactos ambientais enquanto mantém a confiabilidade, resiliência e estabilidade do sistema”.

Algumas recomendações são utilizadas para orientar linhas estratégicas de planejamento e operação, abrangendo aspectos técnicos, econômicos, ambientais, sociais e políticos. Estas, certamente, possibilitarão a construção de uma estrutura necessária para o desenvolvimento de projetos de energia de forma consistente com conceitos, princípios e práticas do desenvolvimento sustentável.

Segundo Reis (2006), algumas recomendações seriam:

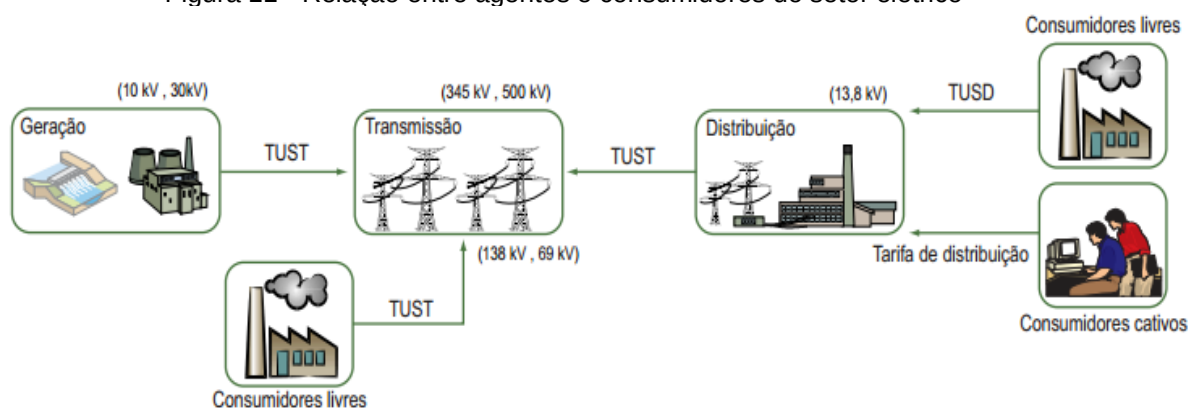
- ❖ Diminuição do uso de combustíveis fósseis (carvão, óleo e gás) e maior utilização de tecnologias, combustíveis e recursos renováveis, com o intuito de construir uma matriz energética renovável em longo prazo;
- ❖ Aumento da eficiência do setor energético em todo seu ciclo de vida, envolvendo atividades que vão desde a prospecção e utilização dos recursos naturais até a desmontagem dos projetos e o seu impacto ao meio ambiente, desde a produção até o consumo;
- ❖ Desenvolvimento tecnológico do setor energético na busca da maior eficiência e, principalmente na procura para encontrar alternativas ambientalmente benéficas ou menos impactantes;
- ❖ Mudança nos setores de produção de energia;
- ❖ Estabelecimento de políticas energéticas voltadas a favorecer a formação de mercados para as tecnologias ambientalmente benéficas ou de menor impacto

ambiental e a incentivar sua utilização como substitutas das alternativas não sustentáveis.

Logo, o cenário atual global a ser considerado na construção do desenvolvimento sustentável deve ser bastante amplo. Nesse contexto, insere-se como parte do setor energético a indústria de energia elétrica, ou seja, o conjunto de empresas que formam a cadeia dessa indústria a são responsáveis pela geração, transmissão, distribuição e consumo de energia, conforme a Figura 11.

Ressalta-se que A Tarifa de Uso dos Sistemas Elétricos de Distribuição (TUSD) é um encargo legal do setor elétrico brasileiro que incide sobre os consumidores conectados aos sistemas elétricos das concessionárias de distribuição e A Tarifa de Uso dos Sistemas Elétricos de Transmissão (TUST) é um encargo legal do setor elétrico brasileiro que incide sobre os consumidores conectados aos sistemas elétricos das concessionárias de transmissão.

Figura 11 - Relação entre agentes e consumidores do setor elétrico



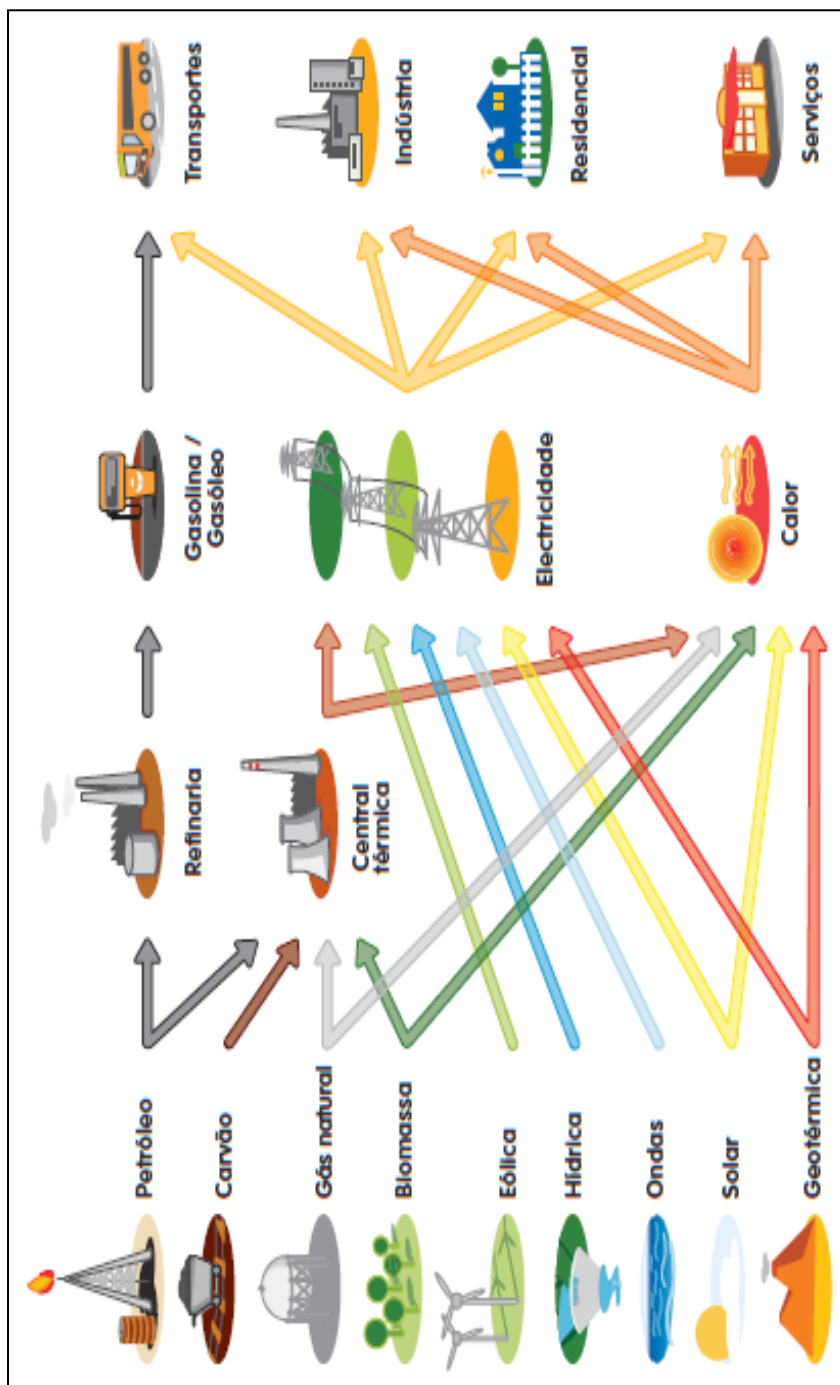
Fonte: ANEEL, 2008.

O produto da cadeia de valor do sistema elétrico é a energia elétrica entregue aos consumidores, entretanto, as concessionárias de distribuição de energia são consideradas empresas de serviço, pois realizam o serviço de disponibilizar energia elétrica para os consumidores. Portanto, a energia elétrica é um produto imprescindível para a sociedade atual para produzir luz, calor, movimento e outras formas de transformação energética (SCHETTINO, 2013).

Antes de se transformar em calor, frio, movimento ou luz, a energia sofre um percurso mais ou menos longo de transformação, durante o qual uma parte é

desperdiçada e a outra, que chega ao consumidor, nem sempre é devidamente aproveitada. Na Figura 12 tem-se uma visualização do ciclo da energia.

Figura 12 - Ciclo da energia



Fonte: EDP, 2006.

2.2 FONTES DE ENERGIA

O acesso à energia é fundamental para o desenvolvimento das sociedades. No entanto, a maior parte da energia usada no mundo provém de combustíveis fósseis como o carvão, o gás ou o petróleo, cujas reservas têm vindo a diminuir. As fontes de energia dividem-se em dois tipos: fontes renováveis ou alternativas; fontes não renováveis, fósseis ou convencionais.

O apelo à utilização das energias ditas renováveis em substituição à matriz fóssil aumentou nos últimos anos, principalmente devido ao conhecimento de sua limitação produtiva futura e, também, à eminência do efeito estufa. Além do efeito estufa, o nascimento de uma consciência ambiental em um nível global impulsiona as ações que visam à preservação da natureza.

2.2.1 Fontes não renováveis, fósseis ou convencionais

Segundo EDP (2006), são fontes de energia que se encontram na natureza em quantidades limitadas e que se esgotam com a sua utilização, sendo, conforme a Figura 13.

1 – Carvão; É um combustível fóssil extraído de explorações mineiras e foi o primeiro a ser utilizado em larga escala e o que se estima ter maiores reservas (200 anos) e o que acarreta mais impactos ambientais, em termos de poluição e alterações climáticas.

2 – Petróleo: Constituído por uma mistura de compostos orgânicos, é, sobretudo, utilizado nos transportes. É uma das maiores fontes de poluição atmosférica e motivo de disputas económicas e de conflitos armados. Estima-se que as suas reservas se esgotem nos próximos 40 anos.

3 - Gás natural: Embora menos poluente que o carvão ou o petróleo, também contribui para as alterações climáticas. É utilizado como combustível, tanto na indústria, como em nossas casas. Prevê-se que as suas reservas se esgotem nos próximos 60 anos.

4 – Urânio: É um elemento químico existente na terra, constituindo a base do combustível nuclear utilizado nas indústrias de defesa e civil. Tem um poder calorífico muito superior a qualquer outra fonte de energia fóssil.

Figura 13 - Fontes não renováveis

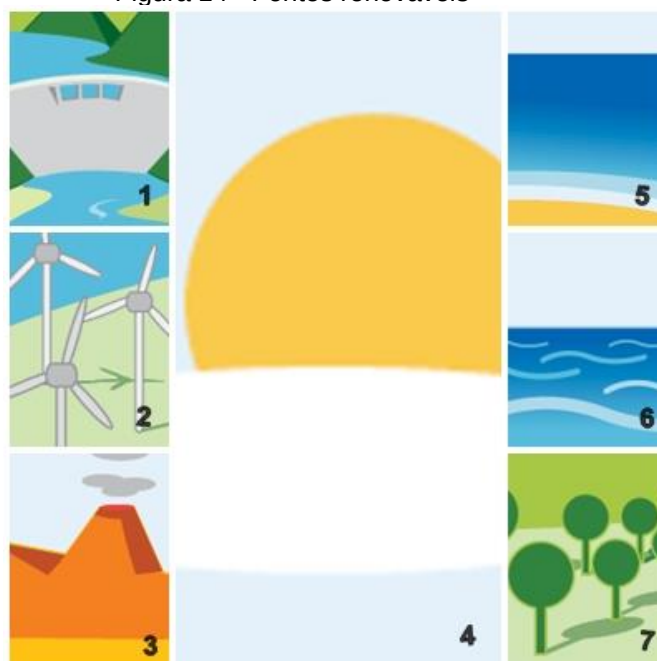


Fonte: Adaptado de EDP, 2006.

2.2.2 Fontes renováveis ou alternativas de energia

Segundo EDP (2006), as fontes renováveis são fontes inesgotáveis ou que podem ser repostas a curto ou médio prazo, espontaneamente ou por intervenção humana. Sendo, conforme a Figura 14:

Figura 14 - Fontes renováveis



Fonte: Adaptado de EDP, 2006.

1 - Hídrica: É obtida a partir dos cursos de água e pode ser aproveitada por meio de um desnível ou queda de água;

2 – Eólica: Provém do vento e tem sido uma das grandes apostas para a expansão da produção de energia eléctrica;

3 – Geotérmica: Provém do aproveitamento do calor do interior da Terra, permitindo gerar eletricidade e calor;

4 – Solar: Provém da luz do sol, que depois de captada pode ser transformada em energia eléctrica ou térmica;

5 – Marés: É obtida através do movimento de subida e descida do nível da água do mar;

6 – Ondas: Consiste no movimento ondulatório das massas de água, por efeito do vento. Podem ser aproveitadas para a produção de energia eléctrica;

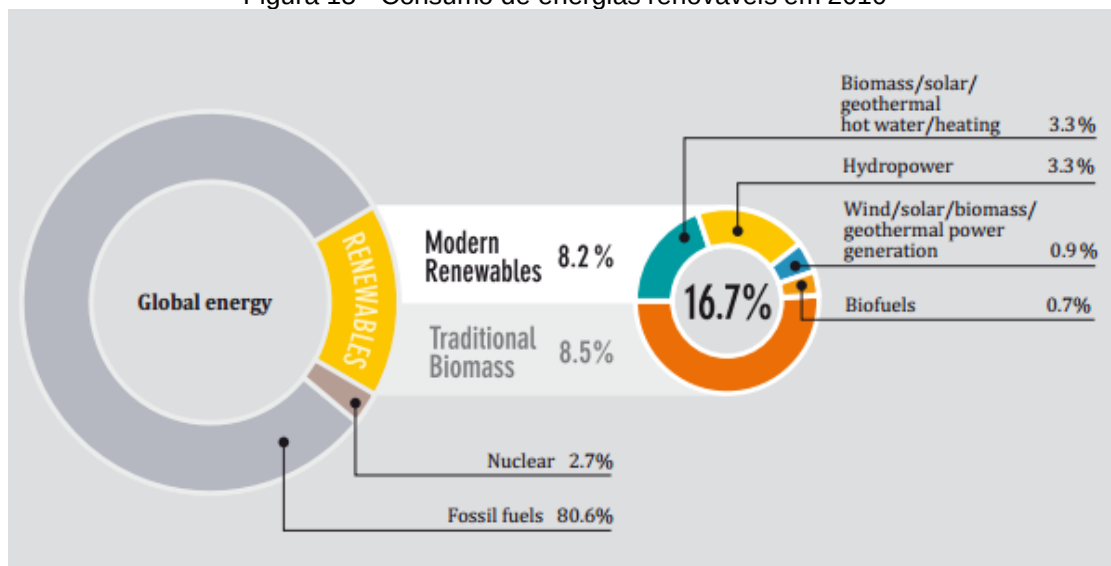
7 – Biomassa: Trata-se do aproveitamento energético da floresta e dos seus resíduos, bem como dos resíduos da agropecuária, da indústria alimentar ou dos resultantes do tratamento de efluentes domésticos e industriais. A partir da biomassa podem produzir-se biogás e biodiesel.

Segundo a Figura 15, a energia renovável em 2010 forneceu uma estimativa de 16,7% do consumo mundial de energia final. Desse total, 8,2% veio de energia renovável moderna-contando energia hidrelétrica, eólica, solar, geotérmica, biocombustíveis, e biomassa (REN 21, 2012).

Por isto, observou-se um rápido crescimento em termos de produção de energia eléctrica com origem de fontes renováveis em muitos países desenvolvidos e nos países em desenvolvimento.

No grupo chamado de “Outras Fontes”, estão abrigados o vento (energia eólica), sol (energia solar), mar, geotérmica (calor existente no interior da Terra), esgoto, lixo e dejetos de animais, entre outros. Em comum, elas têm o fato de serem renováveis e, portanto, corretas do ponto de vista ambiental. Permitem não só a diversificação, mas também a “limpeza” da matriz energética local, ao reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, como carvão e petróleo, cuja utilização é responsável pela emissão de grande parte dos gases que provocam o efeito estufa (ANEEL, 2008).

Figura 15 - Consumo de energias renováveis em 2010



Fonte: REN 21, 2012.

Além disso, também podem operar como fontes complementares a grandes usinas hidrelétricas, cujos principais potenciais já foram quase integralmente aproveitados nos países desenvolvidos.

Entre 2002 e 2006, a capacidade instalada das principais fontes enquadradas na categoria “Outras” aumentou entre 20% e 60%. Logo, tais dados atuais demonstram que houve crescimento significativo em relação a sua expansão.

2.3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

2.3.1 Marco regulatório Brasileiro: Micro e Mini Geração

A Resolução Normativa n. 482 abriu novas perspectivas para a geração distribuída no Brasil. Esta, reduz as barreiras para a conexão à rede de distribuição de pequenos geradores de energia renovável, tornando-se assim um incentivo para que qualquer brasileiro produza sua própria eletricidade (SILVA, 2013).

Regulada em 17 de abril de 2012, a resolução de n. 482 estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

Seguem alguns pontos da Resolução Normativa n. 482:

Art. 2º Para efeitos desta Resolução ficam adotadas as seguintes definições:

I - Micro geração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada ≤ 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

II - Mini geração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada $100 \text{ kW} < e \leq 1 \text{ MW}$ para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

III - Sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com micro geração distribuída ou mini geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados, desde que possua o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda.

Do sistema de compensação de energia elétrica:

Art. 6º O consumidor poderá aderir ao sistema de compensação de energia elétrica, observadas as disposições desta Resolução.

§1º Para fins de compensação, a energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora, será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 36 (trinta e seis) meses.

§2º A adesão ao sistema de compensação de energia elétrica não se aplica aos consumidores livres ou especiais.

Art. 7º No faturamento de unidade consumidora integrante do sistema de compensação de energia elétrica deverão ser observados os seguintes procedimentos:

I - deverá ser cobrado, no mínimo, o valor referente ao custo de disponibilidade para o consumidor do grupo B, ou da demanda contratada para o consumidor do grupo A, conforme o caso.

II - o consumo de energia elétrica ativa a ser faturado é a diferença entre a energia consumida e a injetada, por posto tarifário, quando for o caso, devendo a distribuidora utilizar o excedente que não tenha sido compensado no ciclo de faturamento corrente para abater o consumo medido em meses subsequentes.

IV - os montantes de energia ativa injetada que não tenham sido compensados na própria unidade consumidora poderão ser utilizados para compensar o consumo de outras unidades previamente cadastradas para esse fim e atendidas pela mesma distribuidora, cujo titular seja o mesmo da unidade com sistema de compensação de energia elétrica, possuidor do mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda.

Da medição de energia elétrica:

Art. 8º Os custos referentes à adequação do sistema de medição, necessário para implantar o sistema de compensação de energia elétrica, são de responsabilidade do interessado.

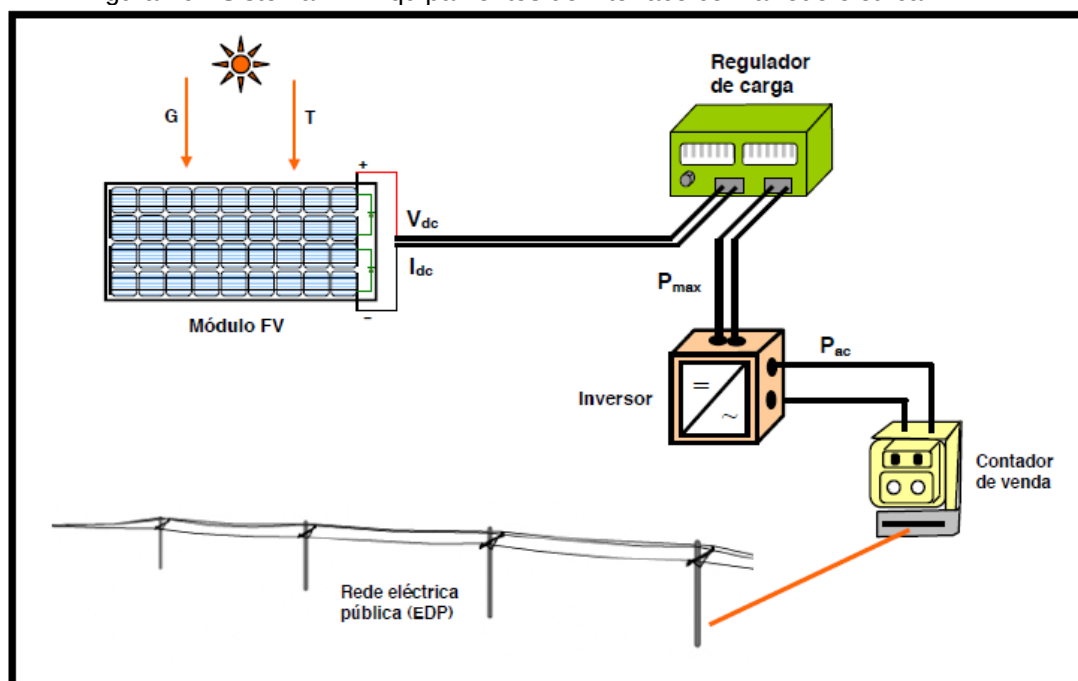
§1º O custo de adequação a que se refere o caput é a diferença entre o custo dos componentes do sistema de medição requerido para o sistema de compensação de energia elétrica e o custo do medidor convencional utilizado em unidades consumidoras do mesmo nível de tensão.

§2º O sistema de medição deve observar as especificações técnicas do PRODIST e ser instalado pela distribuidora, que deve cobrar dos interessados o custo de adequação.

Simultaneamente, foi publicada pela ANEEL a resolução normativa n. 481 (Ver em Anexos) pela qual ficou estipulado, para a fonte solar com potência injetada nos sistemas de transmissão ou distribuição menor ou igual a 30 MW, o desconto de 80% para os empreendimentos que entrarem em operação comercial até 31 de dezembro de 2017, aplicável nos 10 (dez) primeiros anos de operação da usina, nas tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão ou distribuição, sendo esse desconto reduzido para 50% após o décimo ano de operação (EPE, 2012).

Silva (2013) afirma que os avanços provenientes da publicação da resolução se baseiam, de maneira geral, na definição da micro e mini geração distribuída a partir de fontes renováveis e na definição do sistema de compensação de energia.

Figura 16 - Sistema FV: Equipamentos de interface com a rede elétrica



Fonte: Carneiro, 2009.

De modo simplificado, quando se adere a um sistema de compensação de energia via norma 482, a energia gerada é injetada na rede e com o uso dos inversores é possível transformar a corrente contínua em alternada, controlando assim o seu direcionamento através de um GRID que mede toda a energia medida (Ver Figura 16).

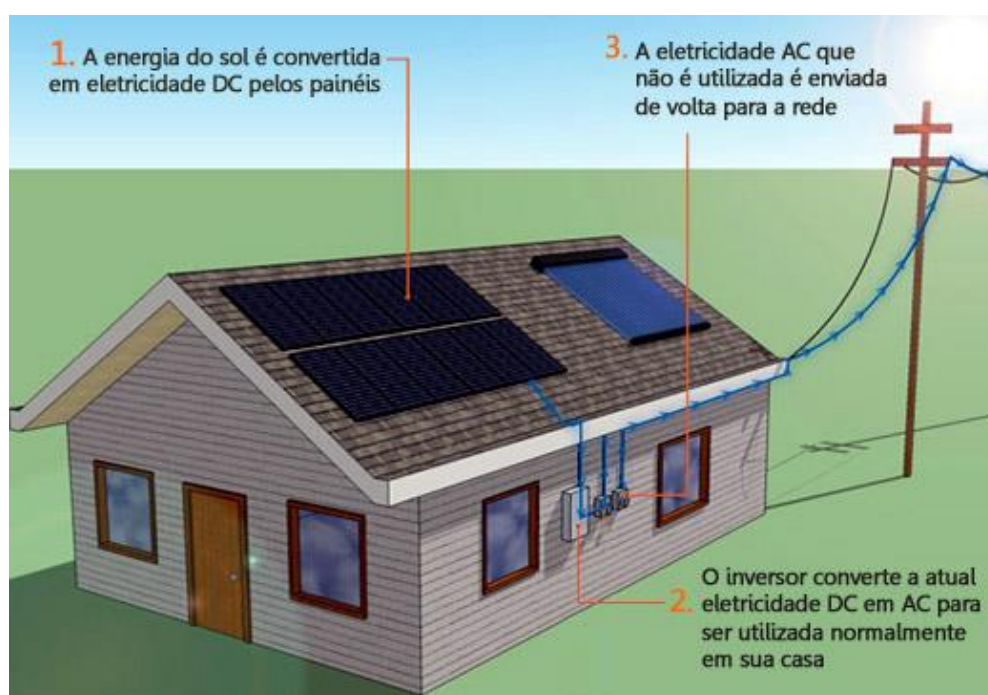
Como mencionado anteriormente, micro geração distribuída é uma central geradora com potência igual ou inferior a 100 kW que utiliza fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada. Já a mini geração distribuída é uma central geradora com potência superior a 100 kW e inferior ou igual 1MW que utiliza as fontes energéticas citadas.

Tendo em vista isto, este tipo de geração não demanda a instalação de extensas linhas de transmissão e os projetos costumam possuir instalação e operação de curto período, de forma rápida e mais acessível. Devido a características de operação, sobretudo em relação à capacidade de instalação da

central geradora, as tecnologias comumente consideradas são micro turbinas, pilhas a combustível, plantas fotovoltaicas e turbinas eólicas (MIRANDA, 2013).

De acordo com a Figura 17, o sistema de compensação de energia elétrica é um atributo inovador nesta nova fase do setor elétrico. Com isto, consumidores que instalem sistemas de micro ou mini geração poderão injetar na rede de distribuição a energia excedente produzida pelo seu sistema e receber créditos em sua conta de luz em troca; Ou seja, o consumidor passará a pagar o valor referente à diferença entre o que foi consumido e o que foi injetado na rede elétrica.

Figura 17 - Geração distribuída



Fonte: Carneiro, 2009.

Através da nota Crítica nº 0025/2011 da ANEEL, foram destacados como pontos positivos da geração distribuída de pequeno porte:

- ❖ A implantação rápida dos sistemas;
- ❖ Menores perdas, visto que a energia é gerada próxima ao consumo, não necessitando ser transmitida a longas distâncias;
- ❖ Menor impacto ambiental;
- ❖ Diversificação da matriz elétrica;
- ❖ Melhoria dos níveis de tensão no período de pico;
- ❖ E postergação no investimento de expansão dos sistemas de distribuição.

Já, em relação aos pontos negativos, ressaltam-se:

- ❖ O aumento da complexidade na operação das linhas;
- ❖ A adoção de novos procedimentos para operar, controlar e proteger as redes de distribuição; a alteração do nível de curto-circuito;
- ❖ Maior distorção harmônica na rede; intermitência de geração, principalmente no que se refere à geração eólica e solar devido à característica flutuante e intermitente de suas fontes de geração;
- ❖ Dificuldade em operar os níveis de tensão em carga leve;
- ❖ Alto custo de investimento com elevado tempo de retorno.

Nas Figuras 18, 19 e 20 são apresentados alguns tipos de instalação já existentes:

Figura 18 - Instalação no Solo e Instalação em Poste



Fonte: CAMPELLO, 2013.

Figura 19 - Instalação em Telhado e Fachada



Fonte: <http://atriaenergy.com.br> / CAMPELLO, 2013.

Figura 20 - Instalação em Toldo

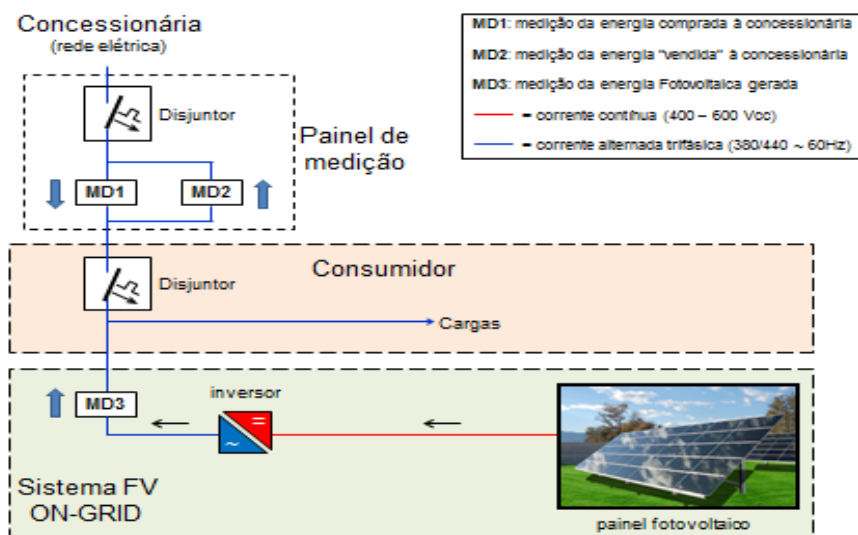


Fonte: CAMPELLO, 2013.

Uma vez que a energia gerada não trafega através de longas linhas de transmissão, um efeito indireto de conservação de energia deve ser considerado, já que sua perda por unidade de energia gerada e transportada diminui consideravelmente, assim como eventuais problemas de congestionamento da rede (HAAS, 1994 e MANFREN *et al.*, 2011).

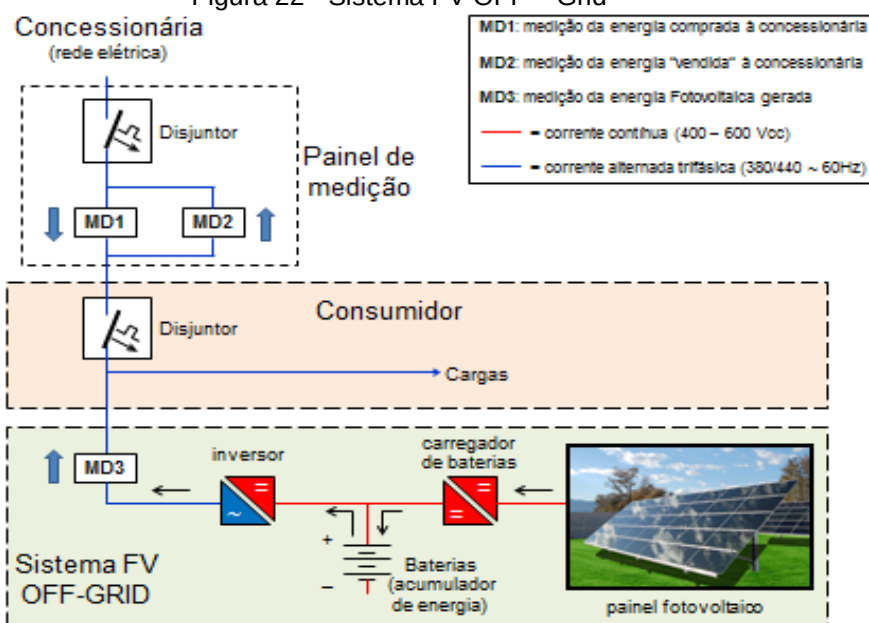
Esta modalidade permite ainda que pequenos investidores atuem no setor, assim como aproxima o consumidor de políticas de eficiência energética (MIRANDA, 2013). Nas figuras 21 e 22, é possível analisar as medições de energia tanto *GRID* quanto *On GRID*.

Figura 21- Sistema FV ON – GRID



Fonte: CARNEIRO, 2009.

Figura 22 - Sistema FV OFF – Grid



Fonte: CARNEIRO, 2009.

Assim, para que essa nova concepção de rede opere de forma satisfatória, é necessário atender a critérios de segurança, qualidade, confiabilidade, assim como às premissas ambientais, regulatórias e econômicas, se faz necessária a adoção de políticas de otimização e automação da rede elétrica, suportadas pelos avanços tecnológicos da digitalização, da tecnologia da informação e telecomunicações, onde a rede do sistema elétrico será responsável por integrar e operacionalizar todas essas tecnologias (SCHETTINO, 2013).

3 ESTADO DA ARTE DA ENERGIA SOLAR

Segundo ABINEE (2012), o interesse na energia solar pode ser resumido em:

- ❖ A energia da radiação solar que atinge a atmosfera a cada ano e o consumo primário anual de energia no mundo (2010) é $1,40 \times 10^4$ kWh.
- ❖ Um aproveitamento de apenas 0,01% da radiação solar seria suficiente para suprir toda a demanda energética mundial. Ou seja, equivalentemente, uma hora de energia solar incidente sobre o planeta equivale ao consumo energético mundial anual.

3.1 A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

As energias provenientes das células fotovoltaicas vêm experimentando um forte crescimento no que diz respeito à tecnologia e progresso no mundo. Na Tabela 1, observam-se projeções futuras que chegam até meados do ano de 2030, reflexos de grande crescimento no seu desenvolvimento e instalações.

Tabela 1- Desenvolvimento e instalação

Ano	EUA (MW)	EUROPA (MW)	JAPÃO (MW)	EM TODO O MUNDO (MW)
2000	140	150	250	1000
2010	3000	3000	5000	14000
2020	15000	15000	30000	70000
2030	25000	30000	72000	140000

Fonte: Adaptado de Solangi *et al* (2011).

Em países como o Japão, Estados Unidos e diversos países da Europa, sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica tornam-se cada vez mais comuns (CRESESB/ CEPEL, 2004). E, à medida que sua aplicação é mais disseminada o custo é menor (ANEEL, 2008).

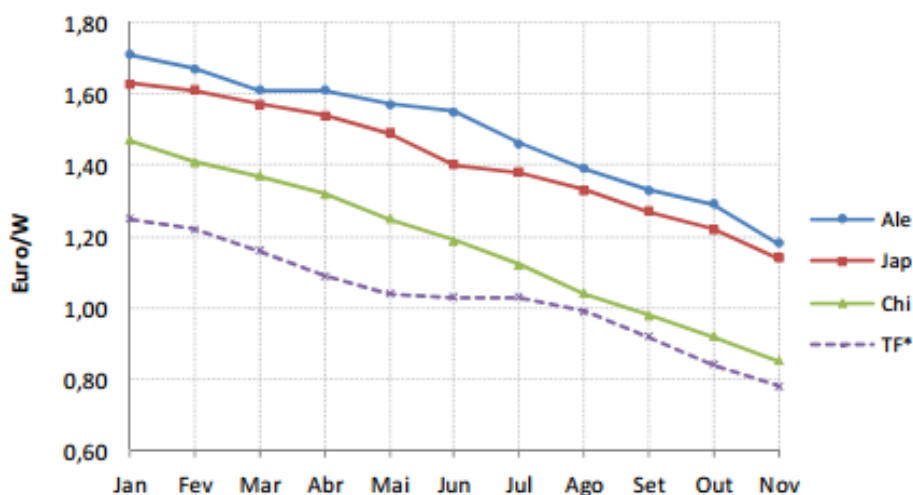
Pesquisas afirmam que o crescimento do mercado fotovoltaico e eólico está acontecendo tão rápido, que as duas fontes alternativas, eólica e solar, representaram um mercado global de 164 bilhões de dólares em 2011, contra apenas 7 bilhões em 2000.

Segundo o projeto “A Carta do Sol” (2011), deve-se considerar, no entanto, que algumas barreiras ainda precisam ser superadas para que este tipo de energia alcance posição de destaque no mercado brasileiro, pois o mercado fotovoltaico no Brasil ainda é incipiente e a fabricação de sistemas fotovoltaicos precisa ganhar escala de produção para reduzir seu custo; entretanto, a incerteza quanto à dimensão do mercado inibe investimentos na ampliação da capacidade de produção, gerando um círculo vicioso que precisa ser rompido.

Atualmente mais de 90% dos módulos fotovoltaicos são à base de células de silício, e é esperado que esta tecnologia se mantenha como a principal, durante os próximos anos (IEA, 2009). Porém, são as células de silício monocristalino que são mais eficientes que as de policristalino e, todavia, apresentam maiores custos de produção (EPE, 2012).

O alto custo para sua fabricação tem sido objeto de estudo em laboratórios de todo o mundo, pois segundo a NREL (2004) o custo dos sistemas fotovoltaicos tem declinado continuamente nas últimas décadas, o que implica que esta diminuição deve continuar no futuro, como demonstra a Figura 22.

Figura 23 - Evolução de preços (atacado) de painéis fotovoltaicos em 2011



Fonte: EPE (2012).

CGEE (2009) garante que o Brasil possui pontos fortes para o estabelecimento de uma indústria fotovoltaica. Afirma também que o país detém tecnologia para a fabricação de células e módulos fotovoltaicos. Além do fomento a geração distribuída, uma combinação de política de fomento à geração centralizada poderia alavancar mais rapidamente a indústria (CGEE, 2010).

Ressalta-se que os módulos fotovoltaicos propriamente ditos sofreram queda de 51% no mercado americano, no período 1998-2010, saindo de US\$4,8/Wp para US\$ 2,4/Wp (BARBOSE *et al.*, 2011). Com exceção do período que compreende o início de 2004 até final de 2008, no qual os preços permaneceram estagnados em US\$ 3,5-4,0/Wp (BAZILIAN *et al.*, 2013).

Hoje, a geração centralizada não apresenta competitividade no Brasil. Desta forma, estímulos iniciais podem ser traçados para viabilizar a maior penetração da fonte solar na matriz elétrica (EPE, 2012).

Ainda segundo EPE (2012), para viabilizar uma redução mais significativa dos custos de produção dentro da cadeia fotovoltaica no país, através de ganhos de escala, é necessário estimular um maior desenvolvimento do mercado para a energia solar, pois para se ter uma ideia, para a instalação de 100kWp, o custo de investimento seria de R\$6,31/Wp, desconsiderados impostos, elevando-se para R\$8,36/kWp ao ser considerada a carga tributária, o que significa algo como 32,5% de elevação.

3.2 O USO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO MUNDO

As buscas da redução dos impactos ambientais no setor de produção de energia elétrica vêm ganhando proporções extremas perante as políticas e governos em todo o mundo. Os governos de cada país têm por objetivo incentivar um novo desenvolvimento industrial no setor de energia, promover o consumo consciente, reduzir desperdícios, custos, além de promover investimentos, e gerar, assim, a eficiência energética (WEO, 2012).

A eficiência energética traz ganhos econômicos amplos, que segundo a WEO (2012), países como a Índia, China, Estados Unidos e na Europa já puderam notar. Contudo, fazem-se necessários investimentos em tecnologia, além de formular medidas, leis, normas, tarifas, incentivos, etc.

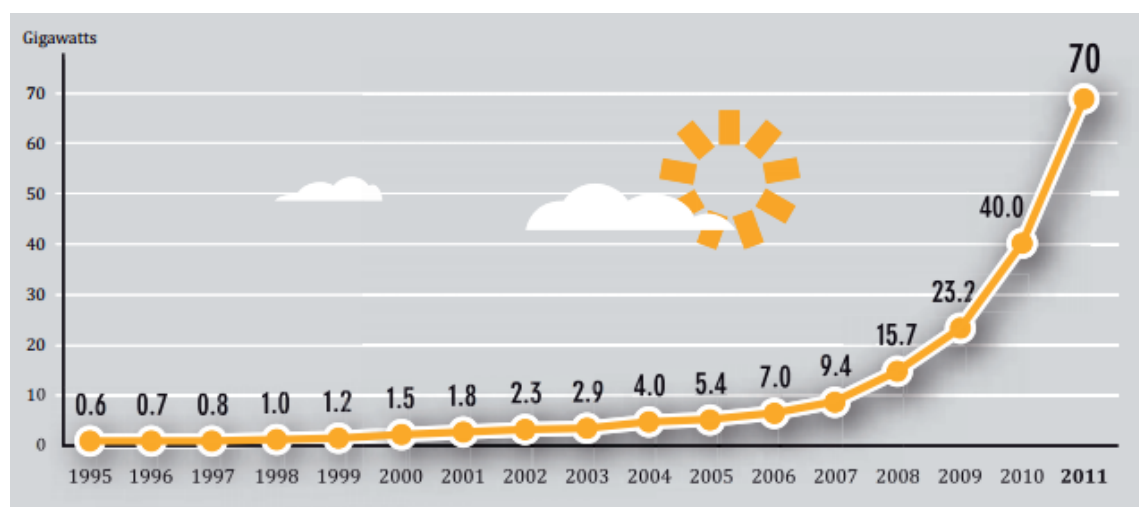
Por este fator, a redução efetiva na emissão de gases poluentes e outras ações de cunho ambiental vêm sendo estipuladas por diversos órgãos ao redor do mundo, e a União Européia (UE) vem publicando documentos relativos a essa redução e ao aumento da participação das energias renováveis até 2020 (SACHT *et al.*, 2012).

A Alemanha e a Itália respondem pela maior produção europeia; De modo a oferecer uma comparação, a Alemanha adicionou mais produção fotovoltaica em sua matriz elétrica do que o mundo todo no ano de 2010 (RENEWABLE, 2011). Fora da Europa, Estados Unidos, China e Japão se destacam como maiores produtores mundiais (PERLOTTI, *et al*, 2012).

Segundo REN 21 (2012), o mercado da energia solar fotovoltaica teve um ano de crescimento extraordinário. Quase 30 GW de nova capacidade de energia solar fotovoltaica entraram em operação em todo o mundo em 2011.

Este relatório de energias renováveis afirma que grande parte da nova capacidade foi adicionada impulsionada pela diminuição acelerada das tarifas, expirações de políticas iminentes, e reduções de preços dramáticos. A capacidade solar fotovoltaica em operação no final de 2011 foi de cerca de 10 vezes o total mundial de apenas cinco anos antes, e a taxa de crescimento médio anual ultrapassou 58% no período desde o final de 2006 até o de 2011.

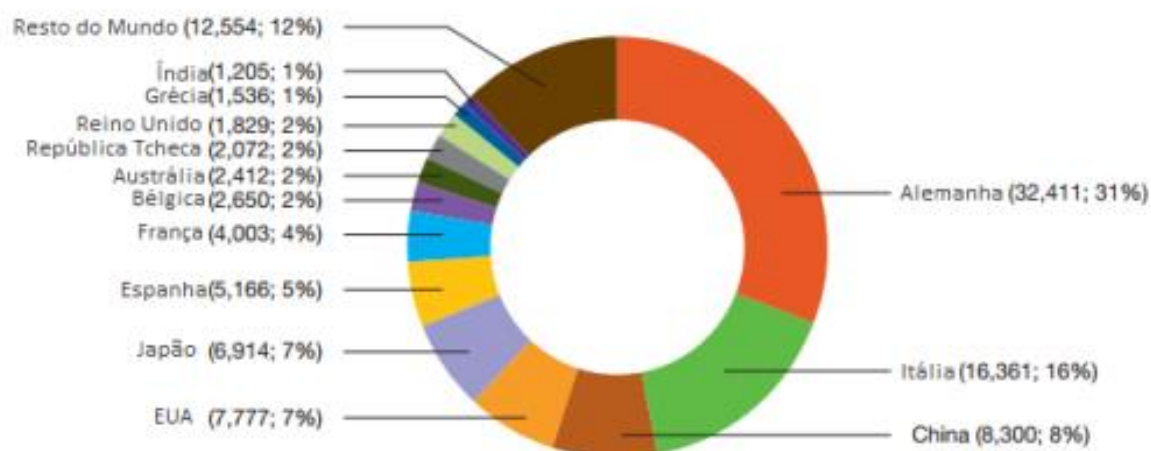
Figura 24 - Capacidade total mundial de energia solar fotovoltaica



Fonte: REN 21, 2012.

Apesar de ainda possuir maior parte da potência instalada, a Europa obteve queda em sua participação com 74% em 2011 para 55% em 2012. A nova capacidade instalada ilustra o novo panorama para países além dos limites europeus, onde foram instalados 13,9 GWp em 2012, bastante acima dos 8 GWp em 2011, e ainda com mais destaque se comparados aos 3 GWp instalados em 2010 (EPIA, 2013).

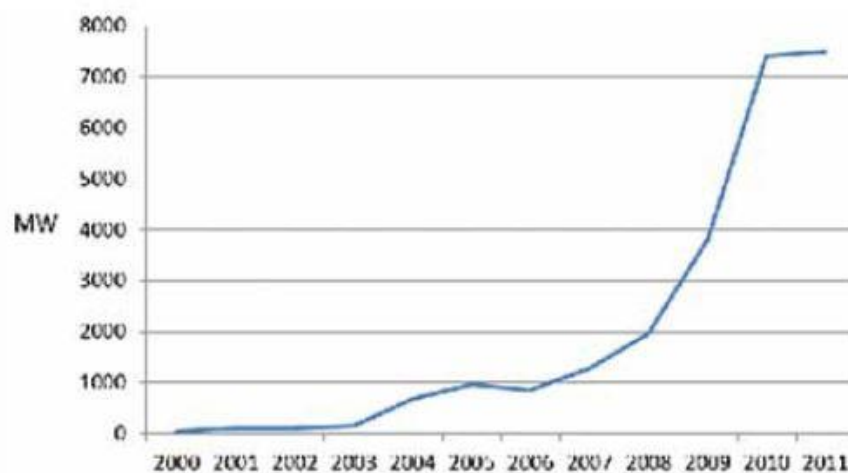
Figura 25 - Capacidade Instalada Acumulada em 2012 (MW)



Fonte: MIRANDA, 2013.

Apesar de utilizar, predominantemente, combustíveis fósseis, a Alemanha é um dos países que maiores esforços têm empreendido com o propósito de elevar a participação das fontes renováveis em sua matriz energética (CADERNO DE ALTOS ESTUDOS, 2012).

Figura 26 - Capacidade instalada Alemanha



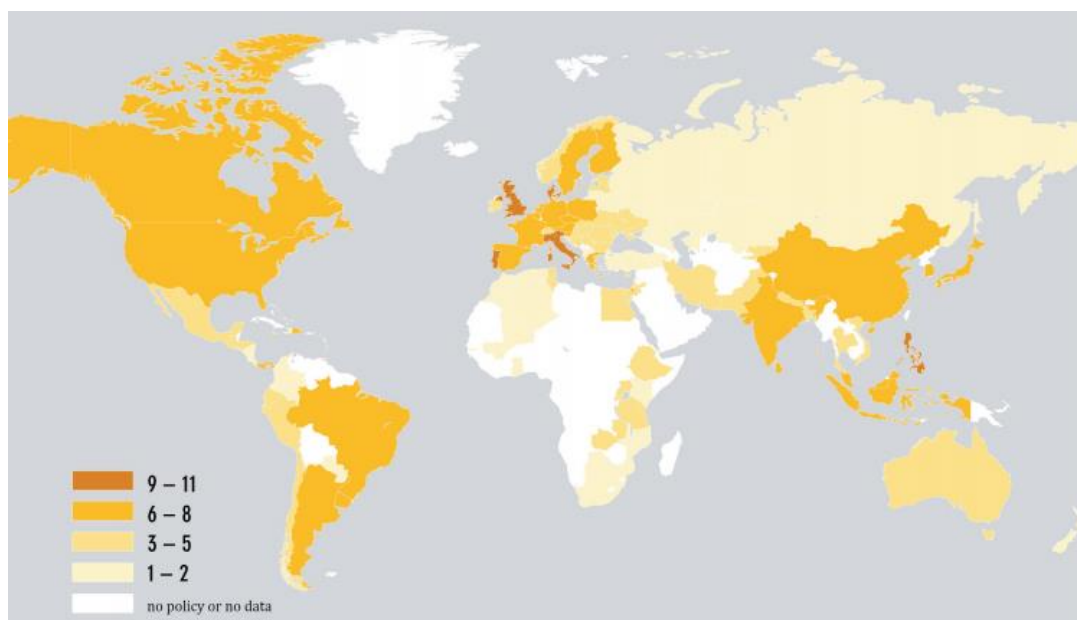
Fonte: CADERNO DE ALTOS ESTUDOS, 2012.

Sua capacidade instalada vem aumentando em uma trajetória impressionante. É possível observar sua evolução na Figura 26 que mostra um histórico de seu crescimento desde o ano de 2000. Por isso, atualmente a Alemanha lidera o ranking mundial em termos da capacidade instalada em energia fotovoltaica.

3.3 POLÍTICA ENERGÉTICA SOLAR NO MUNDO

A política energética é uma estratégia em que os governos decidem abordar as questões de desenvolvimento de energia juntamente com o consumo da indústria para sustentar seu crescimento, incluindo a distribuição de energia, produção e consumo. Os atributos dessa política podem incluir legislação, tratados internacionais e incentivos ao investimento. Ela desempenha um papel vital para mitigar os impactos do aquecimento mundial e crise de disponibilidade da demanda de energia (EPD, 2013).

Figura 27 - Países com políticas energéticas



Fonte: REN 21, 2012.

Uma variedade de políticas como tarifa FIT (*Feed in tariff*, que se trata de uma obrigação por parte de uma concessionária, quando ela é obrigada a comprar eletricidade gerada por produtores de energias renováveis em sua área de atuação); créditos fiscais; leis de preços especiais; Incentivos a produção, selos verdes; ou seja, há todo um arcabouço de exigência de quotas e sistemas de negociação que foram desenvolvidos e implementados para promover o uso de energias renováveis (KISSEL, 2006).

Essas tarifas, segundo CADERNO DE ALTOS IMPACTOS (2012) é o principal instrumento de apoio às fontes renováveis na União Europeia, sendo utilizada por França, Alemanha, Espanha, Grécia, Irlanda, Luxemburgo, Áustria,

Hungria, Portugal Bulgária, Chipre, Malta, Lituânia, Letônia e Eslováquia. Em razão dos baixos riscos dessa modalidade de incentivo, os custos de capital para investimentos em energias renováveis em países que aplicam tarifas *feed-in* têm se mostrado significativamente inferiores aos verificados em países que utilizam outros instrumentos que apresentam riscos de retorno mais elevados. ((JAGER et al (2010) *apud* CADERNO DE ALTOS IMPACTOS, 2012)).

De acordo com Elkins (2004), “não existe um modelo ideal e universal de política pública de uso de energias renováveis, provavelmente ela se adequará ao contexto de sua história e cultura”.

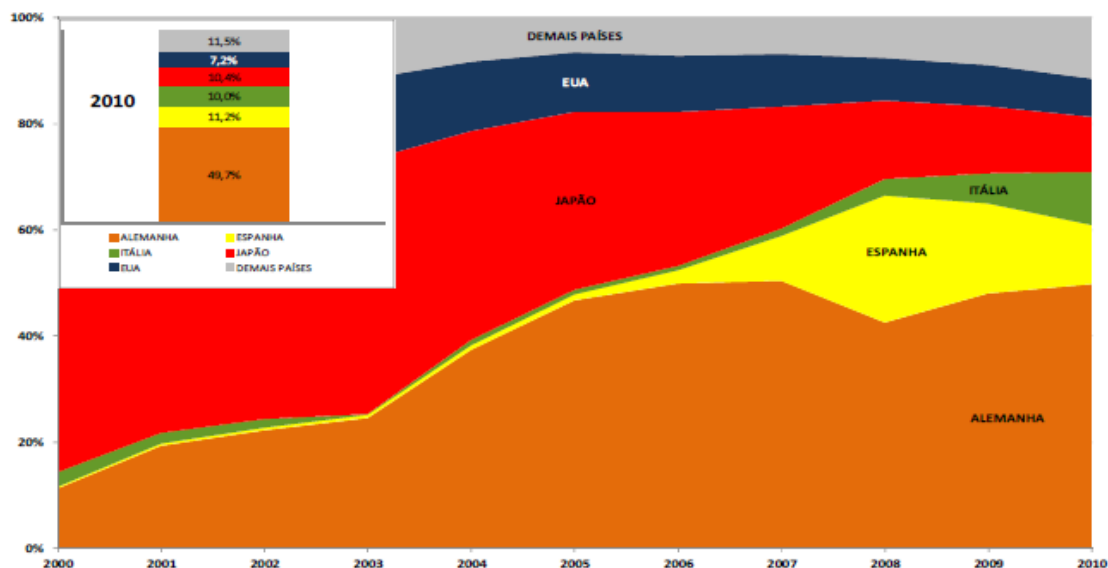
Nessa direção, as Tarifas FIT, isenção de impostos e outros tipos de subsídios determinados pelo poder público, são inseridos pelo governo em cada país, fazendo com que, o governo direcione forças para melhorar a qualidade do meio ambiente, desenvolvimento econômico, político e institucional.

Políticas relacionadas ao uso de energia solar incluem histórias de sucesso em países considerados potências como: EUA, Canadá, França, Espanha, China, Alemanha e Austrália. Tais países atestam que a utilização da energia solar pode ser uma medida viável de minimizar potencialmente os danos causados ao meio ambiente e a própria saúde humana em relação às energias provenientes de fontes não renováveis.

Um aspecto interessante a destacar é que cerca de 90% da capacidade instalada em geração solar fotovoltaica se concentrava, então, em apenas cinco países (Figura 26): Alemanha (50%), Itália (11%), Japão (10%), Espanha (10%) e Estados Unidos (7%). Contudo, ha apenas 10 anos, somente três países; Estados Unidos, Japão e Alemanha, exibiam participação individual relevante na instalação destes sistemas.

A partir de 2003, o que se observa é uma maior penetração desta tecnologia em outros mercados, como Itália e Espanha, que ganham participação no Market Share Mundial (EPE, 2012).

Figura 28 - Geração Fotovoltaica: Capacidade instalada



Fonte: EPE, 2012.

Segundo EPE (2012), os principais mecanismos de incentivo ao aproveitamento energético de fontes renováveis costumam ser o sistema de cotas (*Renewable Certificates* e leilões de compra), pelo qual as distribuidoras de energia elétrica são obrigadas a atender parte de seu mercado com fontes renováveis, e o sistema de preços (*feed-in tariff*), pelo qual a geração por fontes renováveis é adquirida a preços diferenciados.

No sistema de preços, tal como praticado em países europeus, toda a energia produzida pela fonte incentivada é medida e remunerada a preços diferenciados. Em outras regiões, como proposto recentemente na Califórnia, apenas a parcela da energia exportada para a concessionária é medida e remunerada (*net metering* e *net billing*) (EPE, 2012).

Contudo, ainda segundo a empresa de pesquisa energética, os mecanismos utilizados para incentivar a geração solar fotovoltaica não se resumem a esses dois sistemas. Na verdade, o panorama de incentivos é muito amplo e criativo, compreendendo uma combinação de diversos mecanismos, os quais serão abordados abaixo.

3.3.1 EUA

O país adotou mecanismos de padrão de renovação (RPS) em seus 28 estados. Da energia produzida, é exigida uma percentagem de energias renováveis, como solar, eólica, geotérmica e biomassa. A maioria dos objetivos políticos visa facilitar a diversificação da geração de eletricidade, reduzir a dependência do estado em relação aos combustíveis fósseis, bem como, aumentar a implantação de energias renováveis e assim, diminuir a redução das emissões de carbono no meio ambiente (CARLEY, 2009).

Em meados de 1978, foi adotado pela primeira vez o PURPA (*Public Utility Regulatory Policies Act*), que, trabalhava desde então a inserção de energias alternativas em resposta ao aumento do custo das energias fósseis ao longo da década de 70. De 1981 até 1990 foram instalados cerca de 12 GW no país com esta forma de incentivo; Além disso, foram criados os primeiros créditos fiscais de investimento para tecnologias em energias alternativas distribuídas, beneficiando assim produtor residencial e empresarial.

De acordo com Mendonça (2009) hoje o setor de energia solar nos EUA tem incentivos durante mais 8 anos em crédito fiscal de investimento. Milhões de americanos estão aproveitando os benefícios de possuir um sistema distribuído de gerar energia através da energia solar. É assegurado em recente relatório sobre o impacto econômico da política do investimento dos créditos fiscais, que a utilização deste incentivo do governo pode resultar em mais de 6000 MW anuais de energia solar fotovoltaica e mais instalações solares térmicas até 2016.

3.3.2 Canadá

O setor de energia é uma parte importante da economia do país em termos de investimento, comércio, geração de renda e emprego. Desde 1970, o país formulou várias medidas estratégicas para acelerar o desenvolvimento de sistemas de eficiência energética e tecnologia de energias renováveis e tem feito progressos significativos; De 1990 a 2003 a eficiência energética melhorou cerca de 13% só em 2003, reduziu as emissões de gases de efeito estufa em 52,3 Megatons (LIMING, 2008).

O governo possui um papel importantíssimo no desempenho e incentivo do uso da energia solar. A tarifa FIT, é a política de incentivo mais eficaz do programa ao uso de fontes de energia renováveis, tanto é que, está previsto um aumento a ponto de que em toda província instale em seus telhados uma estrutura de energia solar. A mudança mais notável em relação a crescimento foi a produção de painéis fotovoltaicos ter crescido 123% em 2008.

Infelizmente, a matriz energética do país ainda é forte no uso do carvão. Apenas a cidade de Ontário produz cerca de 28 Twh/ano de energia a partir do carvão; evidentemente para eliminar todo o carvão nos próximos 5 anos, seria necessário um poderoso investimento em energias renováveis (CME, 2009) e isso dificilmente irá acontecer.

É de interesse econômico do governo federal canadense que as políticas públicas subsidiem a produção, tecnologia e importação dos painéis, por tal motivo, o governo está melhorando e adaptando o setor de processamento de fabricação com as novas políticas de tributação, energia, comércio, trabalho, pesquisa, infraestrutura, pesquisa, desenvolvimento, entre outros; Além de possuir uma força de trabalho qualificada e compromisso do governo com inovação e crescimento econômico, tal política proporcionará benefícios econômicos, ambientais e sociais significativos (SARAH, 2009).

3.3.3 Alemanha

A Alemanha é a líder mundial na instalação de sistemas de energia solar fotovoltaica, como dito anteriormente.

O governo investe forte na utilização deste tipo de energia, incentivando o uso através de uma remuneração constante para a energia produzida. O país tem quase a mesma capacidade de geração de energia solar que todas as outras nações do mundo juntas. Além disso, o país pretende, até 2020, cortar em 40% as emissões de gases estufa. Assim, calcula-se que o investimento para o sistema fotovoltaico entre 2009 e 2021 seja de aproximadamente 30 bilhões de euros (BHANDARI, 2009).

Os subsídios ao investimento existem em diferentes regiões da Alemanha e se tornam cada vez mais atraentes ao consumidor. A meta da indústria solar alemã é incrementar o uso de baterias para o seu armazenamento, em contrapartida, o

consumidor alemão terá que pagar mais pela energia elétrica em 2013. Para financiar o custo da mudança energética do país para uma matriz renovável, o preço de cada quilowatt-hora passou de 3,59 para 5,30 centavos de euro (DW BRASIL, 2013).

3.3.4 Espanha

Segundo Luigi (2010), o ano de 2008 foi um ano muito importante para a Espanha; O governo estabeleceu um novo marco regulatório a fim de introduzir novas regras para instigar o aumento do mercado de células fotovoltaicas incentivando assim, ainda mais o uso de energias renováveis.

O país é um dos líderes mundiais no que se refere à energia eólica, sendo a tecnologia renovável mais desenvolvida no país. No que se refere a energia solar, ela é provida de instalações de grande escala, possuindo as chamadas fazendas solares, o fato se explica pois o país hispânico é mais provido de radiação solar do que qualquer outro país europeu.

De acordo com Luigi (2010), o ano de 2008 foi marcado com uma capacidade instalada de mais de 3500 MW e de acordo com a lei 35/2006 o governo estabeleceu um desconto de imposto de 6% (2008), 4% (2009), 2% (2010), dos benefícios anuais do sistema fotovoltaico.

Todavia, a redução da demanda de energia e o aumento da produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis subsidiadas causaram déficits tarifários no setor elétrico. Com o agravamento dos efeitos da crise financeira sobre a Espanha, o governo decidiu, entre as medidas de ajuste recentemente implantadas, suspender os incentivos à construção de novas instalações dessa natureza (CADERNO DE ALTOS ESTUDOS, 2012).

Segundo EPE (2012), a Espanha registrou em anos recentes, as maiores taxas de expansão da geração solar, alterou recentemente, talvez em razão da crise econômica a qual enfrenta o regime de tarifas-premio estabelecendo tanto os percentuais de redução progressiva dos valores de tarifa prêmio em instalações realizadas após 2008, por tipo, quanto o prazo de validade do incentivo para instalações realizadas antes de 2008.

Também no ano de 2010, o governo espanhol lançou o plano nacional para energias renováveis 2011-2020 (PANER) que estabelece que cerca de 3,6% da demanda total de eletricidade na Espanha em 2020 deveria ser atendida por geração solar fotovoltaica (EPE, 2012).

3.3.5 França

Globalmente, a França está em quinto lugar na produção de energia solar fotovoltaica, a tarifa FIT é uma das principais políticas adotadas para o sistema fotovoltaico, seguido de incentivos do governo como empréstimos verdes, incentivos fiscais, entre outros. No que se refere ao mercado de renováveis, esse país em 2009, gerou uma receita de US\$ 9,5 bilhões, o que representou uma taxa de crescimento de 2,7% entre 2005 e 2009 (ADEME, 2008).

No entanto, é importante destacar que, exatamente no último período analisado (2008-2009), as taxas foram decrescentes e também se espera que esse decréscimo seja continuado até 2014 (ADEME, 2008).

De acordo com Dusonchet (2010), a capacidade instalada acumulada em energia solar fotovoltaica deverá aumentar a partir de 2012 de 1,1GW a 5,4 GW. Toda coordenação das políticas de energias renováveis no país, provem do ministério da agricultura.

Porém, de acordo com EPE (2012) em razão da crise econômica, essa política de incentivos encontra-se em processo de revisão, com recomendações de redução progressiva dos patamares de tarifa-premio bem como dos incentivos diretos ao consumidor final.

3.3.6 China

O crescimento econômico da China nas últimas duas décadas foi desenfreado, o que implicou a emissões de carbono no meio ambiente. O país alcançou em 2002 a posição de segundo maior país consumidor de petróleo no mundo, ficando atrás apenas dos EUA e superando o Japão que, como todos os países industrializados, têm registrado, nas últimas décadas, um relativo aumento no consumo (SOUZA, 2006).

Diante disto, fez-se necessário a utilização e aplicação do sistema de energia solar, trazendo então grandes benefícios ambientais e econômicos. Hoje, o potencial

de energia solar na China é muito alto onde centenas de fábricas produzem milhões de equipamentos fotovoltaicos nos últimos cinco anos (LIU, 2010).

Além disso, a China é o maior fabricante de painéis fotovoltaicos, alcançando uma participação de 55% do mercado mundial em 2010 (REN21, 2011).

A lei de energia renovável aprovada em 2005 no país permitiu uma nova etapa para o desenvolvimento da energia renovável, portanto, o governo chinês formulou uma série de políticas e leis para incentivar o seu uso, a saber: Subsídios do governo para alavancar a competitividade da produção de painéis; redução ou isenção de impostos, gerando assim motivação, entusiasmo, segurança e vantagens por parte do governo para os investidores o que o tem produzido investimento sólido na área.

Além de que o governo fortalece a cadeia da indústria das células fotovoltaicas, especialmente focada na desenvoltura da tecnologia voltada para resoluções de problemas tais como falta da matéria prima do silício e seu alto custo incorporado. (WANG, 2010).

Nesse sentido, o autor afirma que o alto custo da geração da energia fotovoltaica é a maior barreira, contudo, fazem-se necessárias mudanças, bem como políticas que estimulem a grande e rica capacidade de produção do país.

3.3.7 Paquistão

O país do Paquistão é provido de quase todas as fontes de energias renováveis tais como: solar (térmica e fotovoltaica), eólica, biogás, hídrica, biomassa/ resíduos, geotérmica, marés, etc (SHEIKH, 2009). Para se ter uma ideia, o país é muito rico em irradiação solar, possibilitando o governo a possuir 18 sistemas fotovoltaicos em várias partes do país.

Infelizmente, por falta de gestão adequada estes sistemas solares estiveram escassos por um período considerável pelo fato de o país ser ainda débil em organizações não governamentais, recursos humanos, incentivos técnicos e financeiros. Sheikh (2009) afirma que, as principais dificuldades para sua utilização consistem no alto custo inicial do sistema, desconhecimento da população sobre tais benefícios, falta de conhecimento técnico, além do próprio governo não “enxergar” a necessidade da mesma.

Através da política nacional de energia renovável anunciada em 2002 foi possível projetar que os recursos energéticos renováveis adquirissem 3% de participação no fornecimento de energia primária em 2010, além de alocação anual de 2% a favor do desenvolvimento de tais tecnologias (KHAN, 2010).

No entanto, como afirma Khalid (2013), alguns fatores econômicos tem o potencial de mudar esta situação em um futuro bastante próximo: o primeiro é a queda dos módulos e o segundo fator é a tarifa de energia elétrica estar em ascensão no país o que confirma cada vez mais a viabilidade econômica dos projetos de energia solar fotovoltaica.

3.3.8 Malásia

A Malásia possui um total de 20,5GW de capacidade instalada e a margem de reserva de sua península corresponde a mais 47%, com uma média de 4% de crescimento anual; O país tem previsões de demanda de energia elétrica que chegam até 23,1GW em 2020, o que significa quase o dobro da demanda atual (OB, 2010).

A política energética implantada nas últimas três décadas tem demonstrado que o governo Malaio cuida do meio ambiente. Em 2005, a Malásia se comprometeu a reduzir 70 milhões de toneladas de Gás Carbônico em um período de 20 anos (LAU, 2009).

De acordo com Lau (2009), o lançamento da política e tecnologia baseada em eficiência energética renovável lançada em 2009 ofereceu a oportunidade de o país obter seu crescimento econômico. Esta política foi construída baseada em quatro pilares:

- ❖ - Alcançar a independência energética e promover a utilização eficiente;
- ❖ - Conservar e minimizar o impacto sobre o Meio Ambiente;
- ❖ - Melhorar a economia nacional através do uso da tecnologia;
- ❖ - Permitir que todos os Malaio desfrutem de uma melhor qualidade de vida.

Leis, regulamentos, incentivos econômicos, pesquisa e desenvolvimento, apoio técnico industrializado, projetos, etc, foram implantados no país, através de investimentos de US\$ 4 bilhões ao longo dos três últimos anos e criando assim, 11.000 empregos. Segundo Ob (2010), o esquema poderia mudar a mentalidade

dos consumidores, uma vez que as tarifas são baseadas no princípio do “poluidor-pagador”.

Em relação à energia solar, o país tornou-se membro pleno e de direito do Programa Internacional de Energia Fotovoltaica (IEAPVPS) em 23 de outubro de 2008, todavia este mercado ainda é extremamente pequeno em comparação a outros países desenvolvidos (OB, 2010).

3.3.9 Austrália

O governo da Austrália fez com que a tarifa FIT fosse introduzida obrigatoriamente a fim de auxiliar a comercialização da energia renovável no país (PLAN, 2010). De acordo com Valentine (2010), a tecnologia solar ainda é 3 a 4 vezes mais cara do que a energia elétrica a gás.

Devido às mudanças climáticas os políticos australianos buscaram maneiras de reduzir o impacto de gases tóxicos na atmosfera; Por tal motivo, o país em 2001 tornou-se o primeiro a introduzir um mercado de energia renovável através de acordos certificados (ANDREWS, 2001). Apesar das políticas energéticas do país oferecer apoio significativo, as projeções recentes estimam energia solar fotovoltaica crescente a uma taxa anual de apenas 15MW até 2020 (CME, 2009).

3.4 POTENCIAL DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje, sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os desafios do novo milênio. E quando se fala em energia, deve-se recordar que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia. Em outras palavras, as fontes de energia são, em última instância, derivadas da energia do Sol (CRESESB, 2009).

A energia solar é uma das fontes mais promissoras, consistentes e renováveis dentre todas as fontes de energia renováveis existentes, simplesmente porque ela é primária se renovando a cada dia, podendo ser explorada de várias maneiras, através das células fotovoltaicas, térmica, entre outras aplicações (ANEEL, 2008).

Segundo o centro de referências para energia solar do Brasil, o Sol, fornece anualmente, para a atmosfera terrestre, $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia. Trata-se de um valor considerável, correspondendo a 10.000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Este fato vem indicar que, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, havendo um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia (térmica, elétrica, etc.).

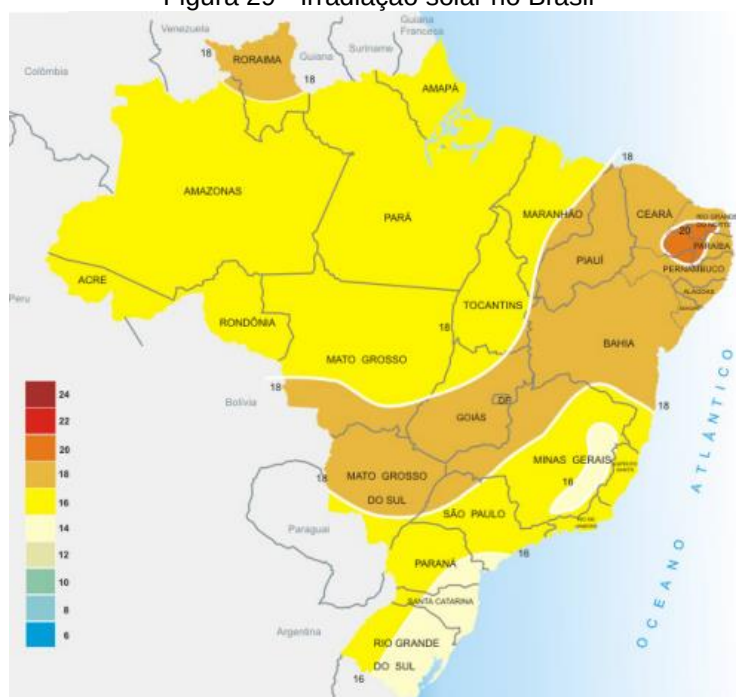
No Brasil, o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM), criado em 1994, iniciou o programa solar brasileiro com a aquisição de sistemas fotovoltaicos. Nesse primeiro momento, foram instalados 5 MWp em aproximadamente 7000 comunidades.

O programa solar brasileiro por tempos ficou voltado para o abastecimento rural e de comunidades isoladas, porém a matriz fotovoltaica brasileira tende a crescer, pois há o contínuo barateamento dos equipamentos, o crescente interesse de investidores, o surgimento de novas tecnologias e uma tendência à solidificação das políticas de incentivo, que já são aplicadas mundo afora (PERLOTTI, *et al* 2012).

A energia solar fotovoltaica conectada a rede elétrica no Brasil deve ser compreendida como uma fonte complementar de energia, uma vez que se trata de fonte intermitente. Por outro lado, seu potencial é muitas vezes superior a demanda de energia ativa e futura do país, razão pela qual os sistemas fotovoltaicos devem ser incentivados a participar com frações crescentes de contribuição na matriz energética nacional (CGEE, 2010).

O conhecimento do nível de radiação solar incidente no local onde se instalará o coletor do sistema solar de geração elétrica é da maior importância, pois permite o cálculo da energia solar captada, que é uma das variáveis básicas para o dimensionamento do sistema (REIS, 2006).

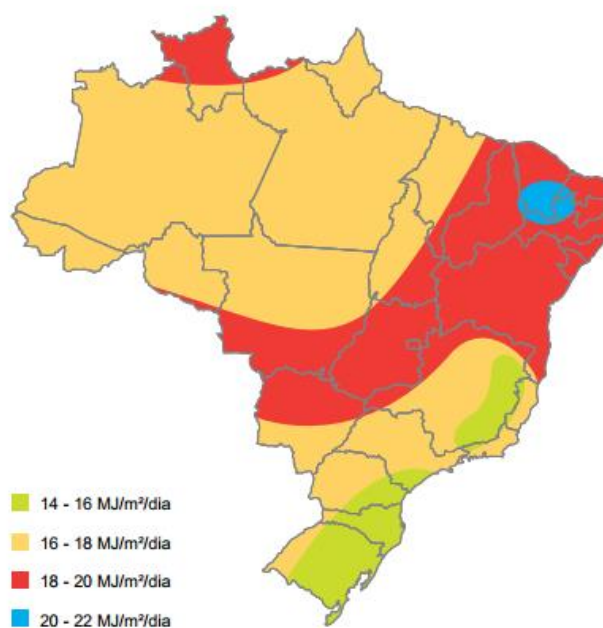
Figura 29 - Irradiação solar no Brasil



Fonte: MME, 2009.

Do mesmo modo, o Plano Nacional de Energia 2030 reproduz dados do Atlas Solar métrico do Brasil e registra que essa radiação varia de 8 a 22 MJ (*megajoules*) por metro quadrado (m^2) durante o dia.

Figura 30 - Variação de radiação solar no Brasil



Fonte: EPE, 2007.

A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), a partir de sua Resolução 482/2012, já mencionada anteriormente, propôs um sistema de compensação de energia (*Net Metering*), o que pode ser um atrativo à população brasileira interessada na implantação de painéis solares em suas residências e indústrias.

Os projetos de P&D da ANEEL juntamente com o crescente conhecimento pela população da resolução citada levam a projeções sobre a geração da energia solar no Brasil, além de o país possuir potenciais vantagens competitivas tais como suas reservas de quartzo de qualidade e indústrias com liderança em silício de grau metalúrgico.

Assim o CGEE (2010) subscreve a percepção de enormes oportunidades para o Brasil. Ficam, assim, expectativas da sociedade para que instituições de governo e do empresariado invistam celeremente em indústria de silício e nos demais elos da cadeia produtiva em energia solar fotovoltaica, dada a identificação de significativos potenciais para:

- ❖ Geração de milhares de empregos de alto nível no país;
- ❖ Geração e distribuição de riqueza socioeconômica;
- ❖ Desenvolvimento de parque industrial competitivo internacionalmente, e;
- ❖ Produção de energia renovável e ambientalmente limpa vista o elevado potencial solar existente.

Entretanto, a tecnologia de exploração ainda é cara, se comparada com outras fontes mais tradicionais como as hidrelétricas, por isso, o motivo de quase todos os países que utilizam este tipo de energia, possuírem a necessidade de adotar políticas direcionadas e específicas para seu desenvolvimento.

Embora a nova resolução normativa da ANEEL 482 (2012), tenha sido vigorada a pouco, garantindo maior acessibilidade, as células fotovoltaicas ainda não são produzidas em larga escala no Brasil, sendo estas, ainda importadas e muito caras, logo, o preço de mercado e de incentivo ao investimento são fatores dominantes que afetam a aceitação do mercado de instalação de energia solar no Brasil (ANEEL, 2008).

O Brasil é potência mundial em termos de radiação solar, podendo ser considerado quase autossuficiente em termos energéticos devido a uma enorme

potencialidade da exploração das várias formas de energia, provenientes dos recursos naturais.

Para se ter uma ideia do grande potencial, a radiação solar na Alemanha, que compreende o país com maior capacidade instalada de energia solar no mundo, é 40% menor do que na região menos ensolarada do Brasil que é a região Sul (RUTHER, 2010). A figura a seguir mostra o mapa do país com sua devida radiação solar:

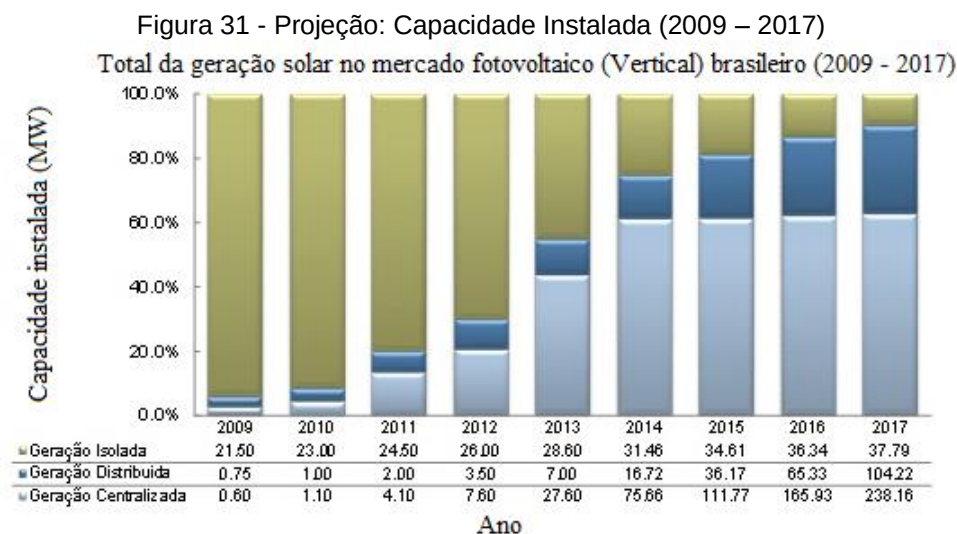
Estima-se que o Brasil possua atualmente cerca de 20MW de capacidade de geração solar fotovoltaica instalada, em sua grande maioria ao atendimento de sistemas isolados e remotos (EPE, 2012).

Segundo EPE (2012), ela visa reduzir as barreiras regulatórias existentes para conexão de geração de pequeno porte disponível na rede de distribuição, a partir de fontes de energia incentivadas, bem como introduzir o sistema de compensação de energia elétrica (netmetering), além de estabelecer adequações necessárias nos procedimentos de distribuição.

3.5 TECNOLOGIA UTILIZADA PARA O USO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar se mostra com um elevado potencial energético; A energia oriunda dos raios solares incidentes sobre a Terra é superior a 10000 vezes a demanda bruta atual de energia da humanidade. Porém, sua baixa densidade e sua variação geográfica e temporal se mostram dificuldades a serem enfrentadas (GALDINO, M; *et al.*, 2013). O Brasil situa-se em uma região de latitude no qual os níveis de radiação são um dos mais elevados do mundo, o que aumenta ainda mais o potencial solar brasileiro (CORRÊA, 2003).

Além disso, a principal matéria-prima na fabricação das células fotovoltaicas atualmente é o Silício, o que confere uma condição privilegiada ao Brasil, pois possui as maiores jazidas de quartzo de boa qualidade, ideal para a obtenção de Silício com elevado grau de pureza (MOEHLECKE, 2013).



Fonte: DOMINGUES, 2013.

Atualmente há pesquisas sendo realizadas com diversos tipos de células fotovoltaicas. Segundo CGEE (2010), os sistemas solares fotovoltaicos podem ser fabricados com diversas tecnologias, entre elas: Silício monocristalino, Silício Policristalino, Silício amorfo, Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio (CIGS), Telureto de Cádmio (CdTe) e Semicondutores Orgânicos.

Os dois últimos citados utilizam tecnologias mais recentes e prometem uma maior eficiência energética em comparação com os painéis de Silício (SACHT, H. et al., 2012). Os módulos de silício são os mais utilizados no mundo, provavelmente permanecendo assim pelos próximos 15 anos.

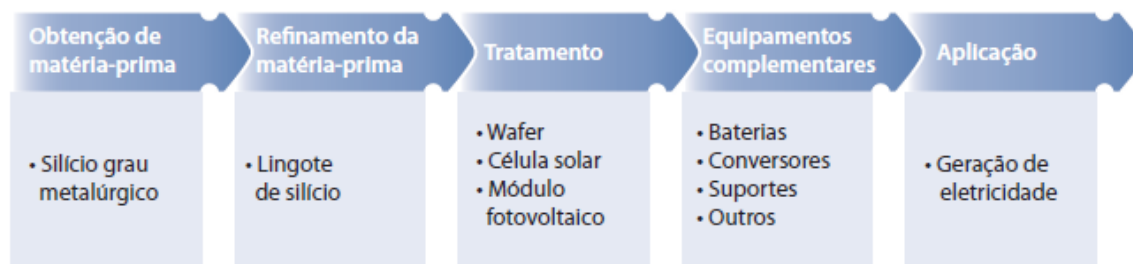
Figura 32 - Células solares de Silício Mono cristalino, Silício Poli cristalino, Silício Amorfo, de CdTe e de Filme fino com encapsulamento flexível, respectivamente



Fonte: SACHT, H. et al, 2012.

De forma resumida, para o silício, a cadeia produtiva da energia solar fotovoltaica e seus principais produtos podem ser representados pela figura abaixo:

Figura 33 - Cadeia produtiva e seus principais produtos



Fonte: CGEE, 2010.

O silício grau metalúrgico é considerado matéria-prima ainda bruta para a produção de painéis fotovoltaicos. O grau de pureza desse material deve ser extremamente elevado. Esse processo de purificação agrega imenso valor ao mineral brasileiro, transformando-o tanto em silício grau solar quanto em silício grau eletrônico (CGEE, 2010).

O Silício necessita de um elevado grau de pureza para que possa ser atingido o chamado grau solar, que é a faixa de concentração aceitável de impurezas para que o Silício possa ser usado para a geração de energia solar (GHENSEV, 2006). Por este motivo, a sua purificação apresenta um altíssimo valor agregado, chegando a valer mais de cem vezes o preço do silício grau metalúrgico atualmente exportado pelo Brasil (CGEE, 2009).

O silício grau solar, dependendo de seu grau de purificação, pode ser utilizado como matéria-prima para a indústria fotovoltaica e para a produção de semicondutores (chips de computadores). A possibilidade de produção nacional de silício grau eletrônico pode estimular a instalação de fabricas de componentes e de equipamentos eletrônicos no país.

O grupo relacionado aos Filmes Finos, observados anteriormente, não levam essa denominação devido às dimensões físicas da célula. A classificação está relacionada com métodos de fabricação mais complexos do que as células convencionais. A tecnologia envolvendo os Filmes Finos consiste no processo onde as moléculas ou íons são depositados consecutivamente em camadas muito finas sobre substratos flexíveis, como plásticos e fibras (GHENSEV, 2006).

Segundo CGEE (2010), o fato de o Brasil já possuir indústrias de silício grau metalúrgico instaladas em território nacional é uma vantagem adicional. O

desenvolvimento da rota metalúrgica pode fazer com que o país figure entre os líderes mundiais de produção de silício de grau solar, possibilitando exportação para todo o mundo.

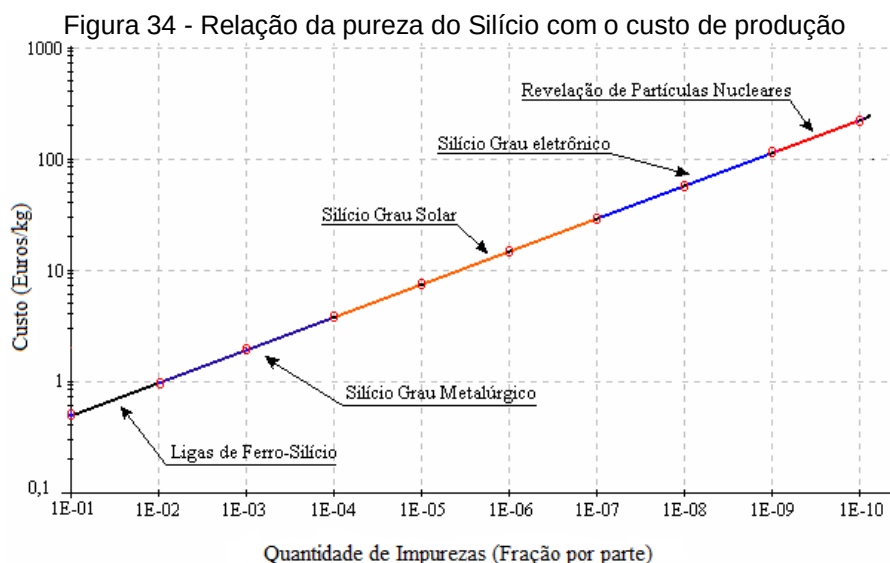
O processo para a utilização da energia solar é um dos que geram menos resíduos nocivos ao meio ambiente. Devido a esse fato, muitos não estão atentos aos impactos causados pelo uso dessa tecnologia. Além de uma avaliação de eficiência, questões desse tipo nos faz atentar que, embora sejam ditas limpas, as energias renováveis geram impactos ambientais que precisam ser levados em consideração.

Portanto, processos industriais que utilizam reagentes nocivos e tóxicos são necessários, além de um grande desprendimento energético para a aferição de elevadas temperaturas.

3.5.1 Células fotovoltaicas de Silício (Si)

O Silício é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, o que implica em 25,7 % da massa da terra. Ele não é encontrado em sua forma isolada, mas sim na forma de óxido de Silício (SiO_2), também conhecido como sílica. Além de sua utilização e aplicabilidade em células solares, o Silício também é o principal componente do vidro, da cerâmica, do cimento e etc. Essa abundância explica em parte a crescente popularização das células fotovoltaicas de Silício (GHENSEV, 2006).

Em aplicações industriais o Silício recebe vários nomes indicando a sua faixa de aplicação na indústria de acordo com seu grau de pureza. A Figura 34 evidencia a classificação basicamente em: Silício grau metalúrgico, Silício grau solar e Silício grau eletrônico. Algumas fabricantes de módulos fotovoltaicos de Silício aproveitam o mesmo das indústrias eletrônicas, que utilizam um Silício com maior grau de pureza. Uma maior sinergia entre esses setores industriais acarreta em redução nos custos gerais de produção:



Fonte: GHENSEV, 2006.

A atual conjuntura industrial mostra um aumento da demanda por Silício para produção de células fotovoltaicas. Isto se dá pelo barateamento de produção devido às novas tecnologias que surgem no mercado, além de melhorias na eficiência energética.

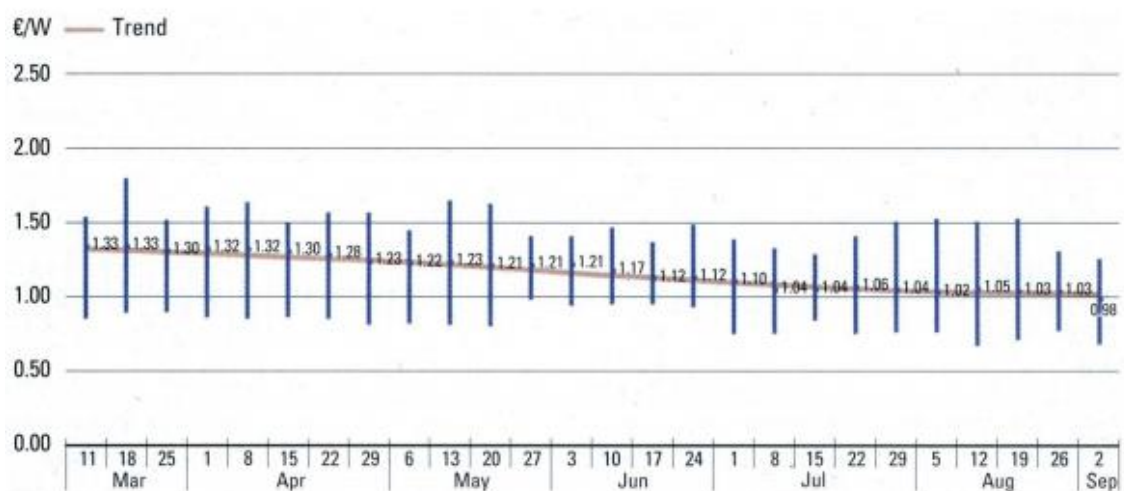
Este cenário contribui para que a adoção da energia solar seja cada vez mais competitiva.

3.5.2 Custos e Eficiência

Um levantamento sobre preço de mercado segundo Photon International (2011) indica que o preço médio do módulo fotovoltaico de origem asiática vendido na Alemanha (maior mercado comprador) rompeu a barreira de 1 €/Watt, numa amostra de 7.153 modelos.

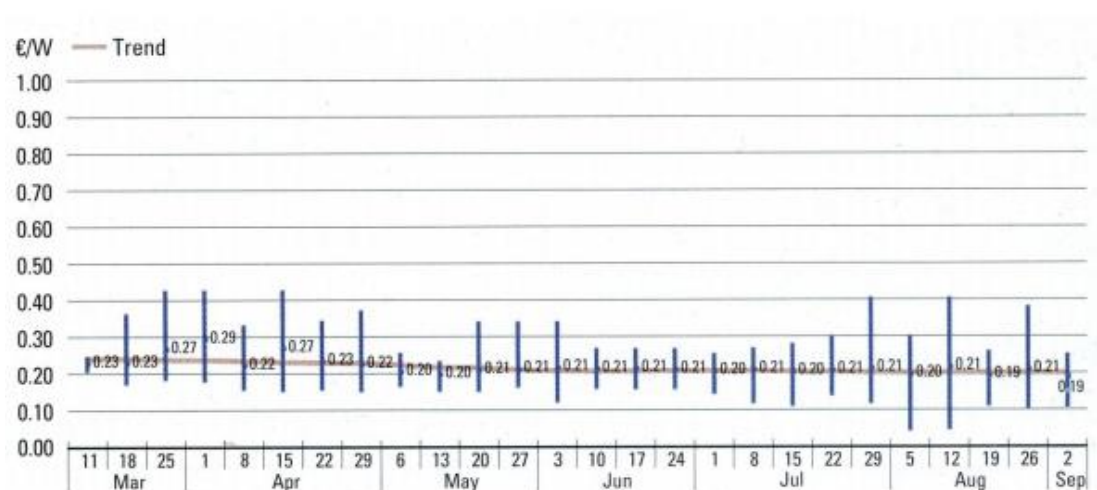
Os preços seguem trajetória declinante, como indicado nas Figuras 35 e 36. Há uma dispersão de valores em torno do valor médio 0,98€/Watt, com módulos variando entre 0,70 e 1,25 €/Watt.

Figura 35 - Custos módulos (euros por Watt)



Fonte: Photon International, 2011.

Figura 36 - Custos inversores (Euros por Watt)



Fonte: Photon International, 2011.

Os demais itens de custo que compõem sistemas fotovoltaicos são relacionados:

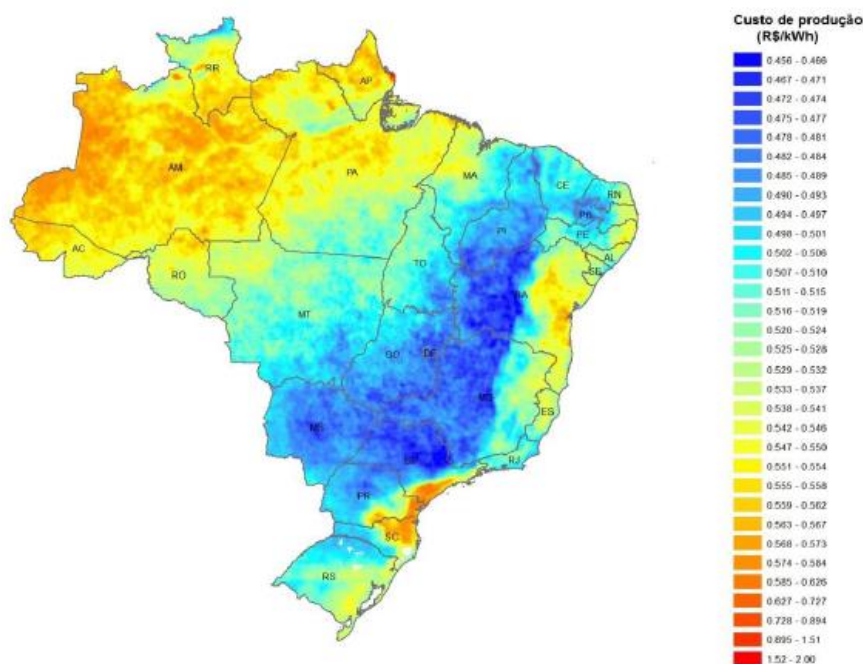
- ❖ Equipamentos: estruturas metálicas para fixação dos módulos, cabos, disjuntores, quadros elétricos;
- ❖ Serviços: o projeto básico e executivo de engenharia, autorização na ANEEL, licenciamento e instalação do projeto;
- ❖ Aquisição de terras.

O custo destes componentes obviamente depende das condições específicas de cada instalação.

De maneira geral, um módulo fotovoltaico de Silício consiste na junção de vidro temperado, camada antirreflexo de alta transparência, alumínio e soldagens. As células fotovoltaicas de Silício são encapsuladas em Acetado de Vinil Etileno (EVA) através de etapas de pressurização e elevação de temperatura (PROENÇA, 2007).

A partir dos parâmetros relacionados a seguir e dados de irradiação em plano com a inclinação igual à latitude de cada local (mapa da SWERA, com grid de 10 km x 10 km) é possível — com o auxílio de uma ferramenta de sistema geográfico de informações — estimar o custo de produção da energia solar fotovoltaica no Brasil (COGEN, 2012).

Figura 37 - Custo de Produção. FV x Irradiação Solar (Quanto mais fria a cor, menor o custo)



Fonte: COGEN, 2012.

As células fotovoltaicas de Silício podem contê-lo em diferentes arranjos atômicos, sendo classificados como Silício Monocristalino, Policristalino e Amorfo. Apesar de grande abundância na crosta terrestre, a extração do Silício a partir do quartzo é preterida, pois naturalmente já possui um elevado grau de pureza, próximo a 98 %, o que barateia o processo de purificação do mesmo (PROENÇA, 2007).

O tipo de conformação do Silício da célula a ser fabricada interfere de maneira direta na eficiência e custo de produção. Segue na Tabela 2 a relação inversa entre custo e eficiência das diferentes conformações do Silício na célula:

Tabela 2 - Relação entre material, custo e eficiência para as células fotovoltaicas de Silício

Material	Custo	Tecnologia	Eficiência Média (%)
SILÍCIO MONOCRISTALINO	+++	Substrato cristalino	25
SILÍCIO POLICRISTALINO	++	Filme fino	17
SILÍCIO AMORFO	+	Filme fino	10

Fonte: Adaptado de SACHT et al, 2012 e PROENÇA, 2007.

3.5.3 - Versatilidade na utilização das células fotovoltaicas

Ao contrário de outras fontes energéticas, como hidroelétricas e termoeletrônicas, a energia solar pode ser adaptada ao espaço urbano. Tipos de construções já são usados ao redor do mundo como alocadores de módulos fotovoltaicos. Além disso, fachadas fotovoltaicas vêm sendo utilizadas em alguns países da Europa também como revestimento de edificações, além de gerar energia elétrica. Em alguns casos, estas fachadas fotovoltaicas substituem os envidraçados, os dispositivos de proteção solar e entre outros elementos de uma edificação (SACHT, 2012).

Dentre os tipos de células fotovoltaicas de Silício, se destaca o amorfo neste tipo de aplicação. Painéis solares em substratos flexíveis, como alguns tipos de plásticos, foram desenvolvidos na última década, o que possibilita a aplicação dos módulos em projetos arquitetônicos diversos. O destaque do Silício amorfo se dá pelo fato de a grandeza de interesse ser o custo por metro quadrado, e não o custo por Wp, onde leva desvantagem com relação às outras conformações do Silício (NASCIMENTO, 2004).

3.5.4 Fatores que afetam a eficiência e durabilidade das células fotovoltaicas

Diversos fatores combinados influenciam a eficiência das células solares fotovoltaicas. O ângulo de inclinação do módulo, o material utilizado responsável pelo efeito fotoelétrico (aquele que gera a corrente elétrica), o índice de radiação ultravioleta (UV) recebida pela placa e o aumento significativo da temperatura por parte do módulo são os principais fatores a serem abordados.

Um painel fotovoltaico inclinado no ângulo aproximado à latitude local tem a absorção de energia solar otimizada. Para aqueles situados no hemisfério norte, a orientação a sul é recomendada; O contrário também é respeitado. Resultados recentes mostram que se tem um aumento de eficiência na faixa de 50 % a 60 % comparando-se painéis solares posicionados na vertical e inclinados de acordo com a latitude local (SACHT *et al.*; 2012).

O modelo ideal de modo a otimizar a absorção da radiação com relação ao ângulo de inclinação seria um módulo “girassol”, onde o ângulo de inclinação seria variável de modo a acompanhar a movimentação do sol ao longo do dia. Algo próximo foi proposto observando a forma como as árvores se dispõem na natureza.

Uma armação metálica contendo pequenas placas fotovoltaicas posicionadas de modo a simular as folhas das árvores foi estudada; Resultados mostram um aumento de eficiência na faixa de 20 % a 50 % comparado às placas convencionais (AMNH, 2011).

3.5.5 Influências do material responsável pelo efeito fotoelétrico

Como já explicitado anteriormente, o material responsável pelo efeito fotoelétrico é fundamental para que se possa obter uma eficiência de partida satisfatória. Outros materiais além do Silício têm suas eficiências explicitadas:

Tabela 3 - Eficiência de outros materiais na geração de energia solar

Material	Eficiência Média (%)
CIGS	19,6
CDTE	16,7
GAAS	27,6
POLÍMEROS ORGÂNICOS	8,3
GAINP/GAAS/GE (MULTIJUNÇÃO)	32,0

Fonte: GREEN, et al, 2010.

Existe uma tendência à adoção de materiais mistos nas células fotovoltaicas, denominadas células multijunção, o que leva a um aumento significativo da eficiência.

3.5.6 Assimilação da radiação útil à geração de eletricidade e efeitos da temperatura

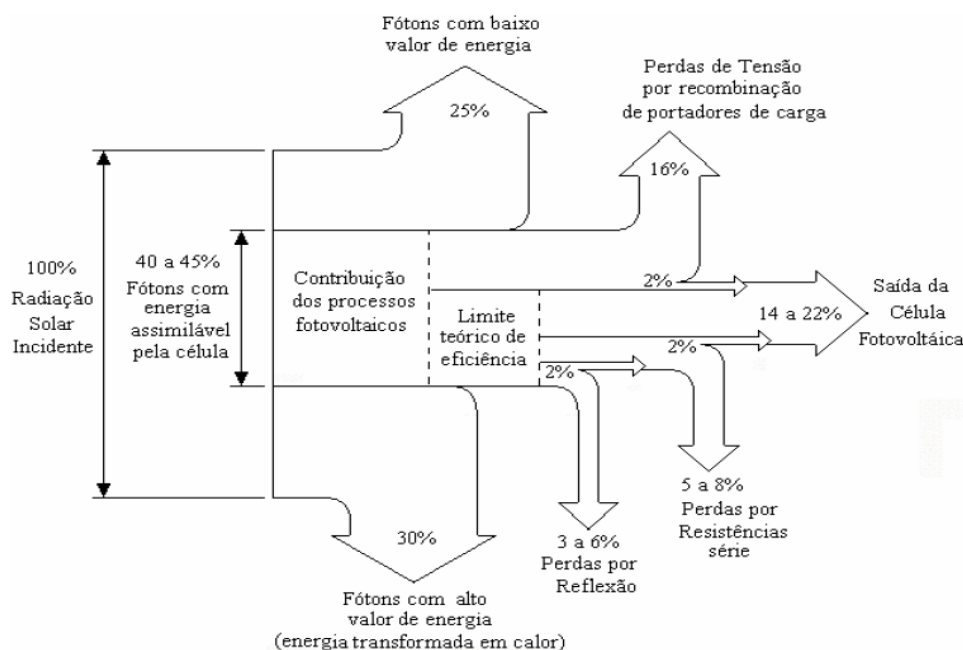
Uma célula fotovoltaica assimila aproximadamente 45 % da radiação solar emitida a ela, sendo os comprimentos de onda situados na região do visível e do ultravioleta os capazes de gerar energia elétrica.

Para a geração do efeito fotoelétrico os elétrons precisam exceder um nível energético exato, determinado de *bandgap*. Níveis acima desse valor são absorvidos na forma de calor, o que interfere de maneira negativa na eficiência da célula (GHENSEV, 2006).

O comprimento ótimo de onda para a geração de energia elétrica varia de acordo com o material responsável pelo efeito fotoelétrico. Por exemplo, os módulos de Silício amorfo possui uma resposta ótima na região de 450 nm, os módulos de Silício cristalino (monocristalino e policristalino) na região de 950 nm, os módulos de CdTe na região de 650 nm e os módulos CIS na região de 700 nm (GUIMARÃES, 2010).

Abaixo, na Figura 38, tem-se o destino de cada parcela da radiação solar ao entrar em contato com um módulo fotovoltaico convencional:

Figura 38 - Destino das parcelas da radiação solar ao entrar em contato com um módulo fotovoltaico convencional



Fonte: GHENSEV, 2006.

As tecnologias envolvidas na fabricação dos módulos fotovoltaicos perdem eficiência quando submetidos a elevadas temperaturas. Por exemplo, uma célula fotovoltaica padrão de 1000 W.m^{-2} a temperatura ambiente de 25°C gera tensões de aproximadamente $18,5 \text{ V}$ quando operada a uma temperatura de 60°C e $24,5 \text{ V}$ quando operada a uma temperatura de 0°C para uma corrente de 1 A (GHENSEV, 2006).

Portanto, quanto menos radiação que possa ser acumulada na forma de calor, melhor para o desempenho do sistema fotovoltaico. Ou seja, locais com elevadas temperaturas médias não são, necessariamente, os melhores para a implantação de módulos fotovoltaicos.

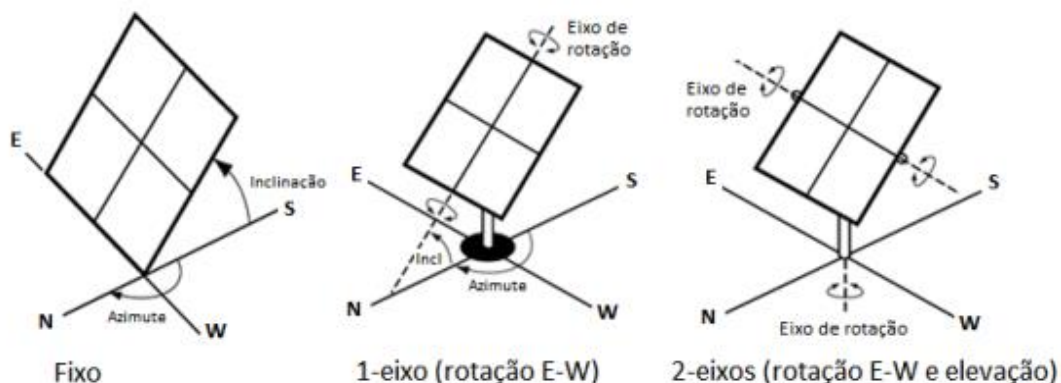
3.5.7 Técnicas de aumento de eficiência para células fotovoltaicas

Como já citado, vários são os fatores relacionados à eficiência de uma célula fotovoltaica. A influência desses fatores pode ser minimizada com algumas técnicas utilizadas para se obter um aumento na eficiência da célula. Dentre essas técnicas, tem-se a texturização de superfície, o uso de multijunção, o uso de estrutura PIN e a utilização de sistemas concentradores com espelhos côncavos de Silício que aproveitam a radiação refletida.

3.5.8 – Estrutura de suporte

Em alguns casos — normalmente em usinas de maior capacidade — os suportes podem estar acoplados a dispositivos projetados para acompanhar o movimento aparente do sol no céu para maximizar a produção de energia. O ganho econômico decorrente do aumento na produção de energia deve superar o incremento no custo decorrente da instalação de eixos móveis (um ou dois eixos) somado ao incremento no custo de operação e manutenção do sistema. (COGEN, 2012).

Figura 39 - Estrutura de suporte – tipos de eixos



Fonte: COGEN, 2012.

3.5.9 – Texturização de superfícies

A texturização de superfícies consiste em alterar o perfil do substrato contendo o material responsável por gerar a corrente elétrica de modo a se obter um melhor aproveitamento da luz incidente. Essa técnica visa o aumento da área da superfície externa exposta ao sol, o que aumentaria a coleta de fótons. Esse processo de texturização também é utilizado para reduzir a refletância da superfície, melhorando a eficiência do módulo (PROENÇA, 2007).

Dentre as formas de texturização se destacam as que formam cavidades piramidais, *hillocks* (pirâmides não invertidas) e *honeycombs* (forma de colmeia). De maneira geral, a texturização busca a reabsorção do fóton refletido através da própria conformação da superfície (PROENÇA, 2007).

Uma texturização adequada da superfície de Silício combinada com outros fatores, como monitoramento da deposição do filme fino e hidrogenação do substrato, leva a uma eficiência de conversão maior se comparada às superfícies planas.

3.5.10 – Células fotovoltaicas multijunção

A utilização de células fotovoltaicas multijunção gera um grande aumento na eficiência se comparado com células de junção única, ou simples. Esse tipo de célula une materiais semicondutores distintos que possuem suas maiores eficiências em diferentes faixas energéticas, o que gera um maior aproveitamento do espectro

solar. Atualmente a eficiência de células fotovoltaicas multijunção está em cerca de 50 % (FRIEDMAN, 2010).

As células solares de junção simples possuem sua eficiência limitada pelo fato de a radiação solar possuir uma grande faixa energética. Devido a isso, é fisicamente impossível que os materiais atuais utilizados na confecção em larga escala dos módulos fotovoltaicos consigam absorver a radiação de modo a varrer toda a faixa energética da radiação solar.

3.5.11 – Estrutura pin

Células fotovoltaicas de construção mais simples utilizam junções do tipo “PN”, onde, de maneira simplificada, os materiais do tipo “P” geram uma diferença de potencial em conjunto com os materiais do tipo “N”. A estrutura PIN promove a adição de um material intrínseco, “I”, entre os materiais “P” e “N”, o que contribui para gerar uma maior diferença de potencial, necessário para se obter uma eficiência aceitável para alguns tipos de materiais, como o Silício amorfo (GHENSEV, 2006).

3.5.12 – Sistemas concentradores com espelhos côncavos de silício

Outra maneira de se tratar a reflexão das placas fotovoltaicas além da texturização de superfícies é utilizando sistemas concentradores. O problema da texturização é que o efeito refletivo é minimizado, não sendo completamente eliminado (LIPINSKY *et al.*, 2002). Para o preparo de células de alta eficiência, mesmo que a reflexão não represente uma perda grande, é recomendável a utilização de sistemas concentradores capazes de aproveitar os fótons refletidos (NAKAJIMA *et al.*, 2005).

Uma lâmina côncava de Silício é preparada e utilizada de modo a servir como célula fotovoltaica e como espelho, concentrando os raios refletidos em outra placa de Silício situada no ponto focal. Com isso, tem-se uma maneira efetiva de aproveitamento da radiação solar refletida pela placa côncava (NAKAJIMA, *et al.* 2005).

3.5.13 - Processo de fabricação e impactos ambientais das células fotovoltaicas

O processo de fabricação de um módulo fotovoltaico convencional de Silício pode ser repartido em etapas, que consistem de maneira geral, na purificação, texturização, limpeza, processamento químico da superfície texturizada e armação do módulo fotovoltaico. De acordo com Proença (2007), o Silício oriundo do quartzo é o preferido para ser utilizado na indústria em geral. Ele possui elevado grau de pureza, 98 %, agregando menor custo a etapa de purificação do mesmo. No início do processo, existem cerca de 10^{22} átomos de Silício por cm^3 no quartzo; As impurezas aqui encontradas são átomos de Alumínio, Ferro, Cálcio, Magnésio, Carbono e Oxigênio.

Após o primeiro estágio de purificação, o Silício adquire grau metalúrgico, com 10^{20} átomos de impureza por cm^3 de sólido. No segundo estágio de purificação, o Silício atinge o grau solar, com 10^{12} átomos de impureza por cm^3 , o que configura a adequação da matéria-prima ao uso solar (PROENÇA, 2007). Segue abaixo simplificada os princípios e reações envolvidas em cada etapa de purificação do Silício.

Tabela 4 - Etapas, reações e processos envolvidos na obtenção do Silício Grau Solar

Etapa	Reação	Processo
Redução do quartzo a silício policristalino grau metalúrgico	$\text{SiO}_{2(s)} + 2\text{C}_{(s)} \rightarrow \text{Si}_{(s)} + 2\text{CO}_{(g)}$	Aquecimento em forno a 1700 °C. O produto é o Silício líquido que se solidifica em estrutura policristalina
Conversão do Silício grau metalúrgico em SiHCl_3	$\text{Si}_{(s)} + 3\text{HCl}_{(g)} \rightarrow \text{SiHCl}_{3(s)} + \text{H}_{2(g)}$	O sólido é triturado e colocado em contato com HCl para a ocorrência da reação na presença de um catalisador
Purificação do SiHCl_3	-----	Necessário para a transformação do Silício grau metalúrgico em grau solar
Conversão do SiHCl_3 em Silício policristalino grau solar	$\text{SiHCl}_{3(s)} + \text{H}_{2(g)} \rightarrow \text{Si}_{(s)} + 3\text{HCl}_{(g)}$	Processo de deposição química em fase vapor (CVD). Os reagentes são injetados em um reator contendo uma barra de Silício a 1000 °C

Fonte: PROENÇA, 2007.

Verifica-se que a purificação para a obtenção do Silício grau solar a partir do quartzo é bastante dispendiosa energeticamente, o que também a torna dispendiosa economicamente. Temperaturas a cerca de 1000 °C necessitam de fornos bem isolados e de grande potência, o que implica em grandes gastos de energia, conferindo um ponto negativo a esse processo. A utilização de reagentes tóxicos e perigosos, como H_2 , HCl e CO , necessitariam de um tratamento e descarte adequado por parte das empresas responsáveis.

O gás hidrogênio é um combustível altamente inflamável que necessita de medidas especiais de segurança para o seu manuseio e transporte. Embora ele seja reutilizado durante o processo de purificação, ele precisa ser armazenado e reinjetado de maneira segura, evitando assim uma combustão indesejada, ou seja, um potencial acidente.

O ácido clorídrico configura um subproduto da purificação que também pode ser reinjetado. É um constituinte de elevada acidez, o que lhe confere poder de degradação em diversos materiais. O monóxido de carbono é desprendido durante a obtenção do Silício grau metalúrgico. Além de tóxico ao ser humano, o CO é um dos gases classificados como gases estufa, pois possui características que, juntamente com o CO_2 , contribuem para o efeito estufa.

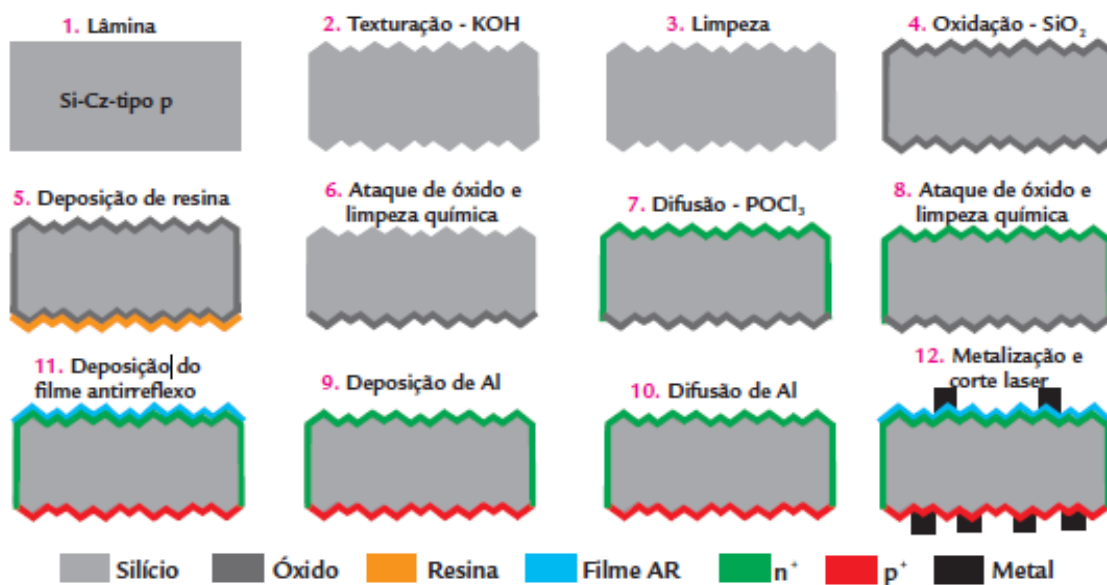
O processo de texturização de superfície se utiliza de agentes corrosivos alcalinos, que comumente são $NaOH$ e KOH . Diferentes condições de concentração das bases, de temperatura, de pressão e de agitação são responsáveis pelo tipo de texturização a ser obtida (cavidades piramidais, *hillocks* e *honeycombs*) (PROENÇA, 2007).

O processo de fabricação de modo geral possui diversas etapas de reações químicas, limpezas, dopagens e difusões, que geram resíduos consideráveis e de difícil caracterização para descarte, visto que há retirada de impurezas diversas da superfície da célula fotovoltaica.

Diversas tecnologias representam diversos processos de fabricação e resíduos diferentes. Naturalmente, o processo de obtenção de energia elétrica a partir da energia solar acarreta em poucos impactos ambientais comparados com a energia obtida de origens fósseis e de sistemas hidroelétricos.

Os módulos fotovoltaicos atuais possuem um tempo de vida útil situado na faixa de 20 a 30 anos, dependendo da tecnologia de fabricação adotada. Equipamentos mais novos tendem a possuir uma durabilidade maior, ou seja, tendem a manter sua eficiência em um padrão aceitável em um período de tempo maior.

Figura 40 - Etapas de fabricação da célula fotovoltaica de Silício



Fonte: PROENÇA, 2007.

Embora seja um longo prazo, as células inutilizadas necessitam de um processo de descarte e reciclagem adequados. Os módulos fotovoltaicos possuem metais em sua constituição, como Zinco, Cádmio, Selênio, Chumbo, Boro, que não são próprios para um simples descarte. Pesquisas relacionadas a métodos de reciclagens eficientes das células fotovoltaicas vêm sendo desenvolvidas no presente momento (FERNÁNDEZ, *et al.* 2011).

4 EVTE – ESTUDO DE VIABILIDADE TECNICO ECONÔMICA

Em 2003, CGEE já afirmava que a implementação de estudos de viabilidade técnica e econômica (EVTE) permitia uma avaliação sobre os custos de produção e as possibilidades de mercado para invenções, novos produtos de empresas e novos processos de produção, objetivando a preparação dos mesmos para a fase de prototipagem ou produção piloto.

Para CGEE (2003) o principal objetivo desta ferramenta é reduzir os riscos dos investimentos a serem feitos nas fases posteriores à do estudo, por isto, a realização deste estudo tende a minimizar os fracassos futuros de ideias sem potencial técnico ou econômico. Geralmente são utilizados para avaliar a viabilidade da implantação de empreendimentos tecnológicos, tais como incubadoras de empresas e parques tecnológicos.

Segundo Woiler (1986), o projeto de Viabilidade é um projeto de estudo e análise, ou seja, é um projeto que procura verificar a viabilidade a nível interno da própria empresa. Quando surge a ideia ou a oportunidade de investir, começa o processo de coleta e processamento de informações que, devidamente analisadas, permitirão testar a sua viabilidade.

Ribeiro (2006) afirma que como estudo de Viabilidade, entendem-se os estudos iniciais e análises preliminares de uma determinada oportunidade de investimento e que têm início tão logo surge a ideia de se investir. Posteriormente, vem então, a coleta de dados e processamento das informações relevantes envolvidas com a viabilidade do empreendimento em questão.

De acordo com Borges (2009), para o estudo de viabilidade econômica, deve-se avaliar o custo do projeto. Este é a soma de todos os custos em um dado período de tempo, ajustados ao valor presente. Podem ser divididos em duas categorias: custos de investimento e custos operacionais. O aludido autor afirma que se devem escolher critérios a fim de verificar se o sistema é viável.

Weisz (2009) acrescenta que antes de empreender a implantação física de um empreendimento, o investimento industrial, propriamente, é necessário realizar estudos para determinar a sua exequibilidade e economicidade, além de planejar sua execução, tomar decisões e antever resultados. O estudo de viabilidade é,

portanto, um estudo prévio para aferir e registrar a capacidade de um empreendimento ser criado e ganhar vida própria. Trata-se do trabalho inicial, cujo produto é a recomendação quanto à conveniência de investir esforços e recursos num empreendimento (WEISZ, 2009).

Adiante, em 2013, CGEE afirma que é no EVTE que os componentes críticos do produto ou processo são tecnicamente estudados e a viabilidade econômica da inovação junto ao mercado é estimada. É também através de estudos de viabilidade que são verificadas as necessidades e mesmo as adaptações que um produto ou processo precisa sofrer para que seja viabilizada sua produção em escala.

Logo, considerando que as barreiras técnicas e econômicas para a disseminação dessa forma de produção de energia elétrica estão sendo superadas estudar a sua viabilidade poderá auxiliar na propagação desta tecnologia no país, pois estudos recentes estimam que o investimento no setor de energias renováveis excederá US\$ 10 trilhões nos próximos 20 anos, na maior parte nos países em desenvolvimento (IPEA, 2012).

Para realizar o EVTE algumas variáveis foram são necessárias. São elas:

4.1 VARIÁVEIS TÉCNICAS E ECONÔMICAS ANALISADAS

4.1.1 Classificação da Planta

As plantas escolhidas nesta pesquisa corresponderam a potências instaladas de 117,6 kWp (quilowatt-pico), 352,8 kWp e 1000kWp (1MW), respectivamente. A de 117,6 kWp refere-se a uma indústria do setor calçadista, a de 352,8 kWp, setor educacional e a de maior capacidade, setor de mineração.

4.1.2 Insolação padrão e temperatura

Segundo CGEE (2010), o potencial de insolação territorial brasileiro é elevado, se comparado aos países que atualmente lideram a produção fotovoltaica, a exemplo da Alemanha. Ressalta-se que para o referido estudo, foram definidas condições padrões para todos os módulos. Para tal, foi definida a intensidade de 1.000W/m². Esta intensidade é chamada de radiação máxima ou de pico, e, como condição padrão internacional das células, foi utilizada a temperatura de 25°C.

4.1.3 Eficiência de Conversão Solar

Conforme Salviano (2001), com a energia solar incidente no plano do módulo fotovoltaico, com uma superfície de captação, e com a energia elétrica gerada, pode-se calcular a Eficiência Energética de conversão do módulo. Neste estudo foram considerados os módulos: Monocristalino e o Policristalino. Ambos possuem eficiências diferentes, sendo de aproximadamente 16,2% para os Monocristalinos e 15,0% para os módulos Policristalinos.

4.1.4 Área útil de cada Módulo

A área útil para cada módulo corresponde ao tamanho de cada módulo fotovoltaico adotado. Este fato interfere de maneira direta na quantidade de painéis e no espaço a ser utilizado em um projeto. Nos casos adotados neste estudo, cada módulo dispôs de 1,63 m.²

4.1.5 Potência de pico de cada módulo

Corresponde a potência máxima de produção de um painel em condições ambientais ideais em kWp. É a capacidade máxima que o módulo consegue gerar em energia.

4.1.6 Insolação anual, diária e mensal na latitude

O ponto de partida da análise foi a localização geográfica (latitudinais e longitudinais) dos dados de radiação global utilizados. Miranda (2013) afirma que devido à complexidade de se estimar dados climáticos, e ainda, uma vez que variações ano a ano são observadas, diversos modelos são usados na tentativa de se obter dados confiáveis.

Por meio de uma ferramenta disponibilizada pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), através do *Surface meteorology and Solar Energy* (SSE) foi possível gerar dados da insolação diárias, mensais e anuais respectivamente em W/m². Atributos como pressão atmosférica, altitude, massas de ar, correntes marítimas e relevo tornam uma região única em todo o planeta. Por essa razão, locais com mesma latitude não apresentam exatamente mesmo clima e,

assim, apresentam diferentes rendimentos para a tecnologia fotovoltaica (MIRANDA, 2013).

4.1.7 Capacidade estimada de produção por módulo

Refere-se à capacidade estimada de produção de energia elétrica via sistema de energia solar fotovoltaica através dos módulos.

4.1.8 Produção anual estimada de energia elétrica

Corresponde à produção estimada de energia ao ano gerada através dos módulos.

4.1.9 Tarifa da distribuidora

A tarifa de energia é o preço cobrado por unidade de energia (R\$/kWh). Em essência, é de se esperar que o preço da energia elétrica seja formado pelos custos incorridos desde a geração até sua disponibilização aos consumidores na tomada elétrica (ABRADEE, 2014).

Segundo a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (2014), a tarifa de energia elétrica dos consumidores considerados cativos é, de certa forma um pouco mais detalhada e é constituída por: custos com a aquisição de energia, custos relativos ao uso do sistema de distribuição, do sistema de transmissão, perdas técnicas e não técnicas, encargos diversos e impostos.

O consumidor cativo absorve incertezas, erros e acertos do planejamento centralizado de governo e da distribuidora. Participa do rateio dos custos da diferença entre geração programada e realizada, ou seja, está exposto a riscos e não tem como gerenciá-los. Já para o consumidor livre a energia é livremente negociada, visto que, a decisão de migrar para o mercado livre é individual de cada consumidor (ABRACEEL, 2014).

4.1.10 Investimento

Segundo Ribeiro (2006), o empreendimento, objeto do Projeto de Viabilidade que se está elaborando, requer o uso de um determinado montante de recursos para a sua implantação, no qual é denominado investimento.

A lógica básica de análise de investimentos é a de que somente se justificam sacrifícios presentes se houver perspectivas de recebimentos de benefícios futuros suficientes para atender as expectativas de quem está realizando o investimento (TREASY, 2015).

4.1.11 Tempo de retorno do investimento (ROI - *Pay Back*)

É um indicador econômico financeiro que consiste na quantificação do tempo necessário para que o valor do investimento seja recuperado, através dos benefícios líquidos gerados pelo empreendimento (RIBEIRO, 2006). Para Treasy (2015), o ROI é a melhor estimativa da rentabilidade que um projeto de investimento pode oferecer.

O tempo de retorno (*pay-back*) do investimento é uma técnica de fácil compreensão para o investidor e, por isso mesmo, muito usada: “em quantos anos ele recuperará aquilo que ele investiu no projeto?”. Quanto menor o tempo para o investidor recuperar o que ele aplicou no projeto, tanto mais cedo ele disporá de seu capital para fazê-lo render em outra iniciativa (WEISZ, 2009).

4.1.12 Taxa interna de retorno (TIR)

Segundo Fleicher (1988) a taxa interna de retorno de um investimento é a taxa de juros para qual o valor presente dos recebimentos resultantes do projeto é exatamente igual ao valor presente dos desembolsos, ou seja, é a obtenção de uma taxa de juros que anule o valor presente do fluxo de caixa.

Para Oliveira (1982) esta taxa é caracterizada como aquela que torna o valor dos lucros futuros equivalente ao valor dos gastos realizados com o projeto, assim, a Taxa Interna de Retorno caracteriza-se como a taxa de remuneração esperada para o capital investido. Já Freire (2011) caracteriza como sendo a taxa mais elevada a que o investidor pode contrair um empréstimo para financiar um investimento sem perder dinheiro.

4.1.13 Financiamento

A execução de um projeto dependerá fundamentalmente dos recursos disponíveis interna e externamente à empresa. O capital próprio que a empresa colocará no projeto é um elemento importante para a determinação do investimento

total que pode ser feito, uma vez que muitas instituições só emprestam até certos limites deste capital próprio. Ou seja, corresponde aos gastos necessários para a geração de benefícios em longo prazo.

Inicialmente, classificam-se as fontes de recursos financeiros em duas categorias principais: recursos próprios e recursos de terceiros. Ribeiro (2006) ressalta que a disponibilidade de incentivos fiscais e financeiros, possíveis de serem alavancados para um empreendimento é levada em consideração. Os incentivos fiscais relacionam-se, normalmente, as vantagens fiscais concedidas pela legislação tributária, em níveis federal, estadual e municipal, que servem de atrativos para a instalação ou ampliação de empreendimentos econômicos em determinadas regiões de nosso país.

Entre as principais linhas de financiamento utilizadas atualmente pode-se citar os seguintes:

- ❖ Os Fundos Constitucionais do Norte – FNO, do Centro- Oeste – FCO, e do Nordeste – FNE, são exemplos de tais instrumentos de crédito disponíveis para os empreendimentos que pretendem se instalar nas regiões Norte, Centro Oeste e Nordeste do País. Trata-se de alocação de recursos na forma de financiamento de ativo fixo e capital de giro associado, a prazos de até 12 anos, com até 3 anos de carência (RIBEIRO, 2006).
- ❖ O BNDES – Fundo Clima. Instituição oficial de crédito de longo prazo do Governo Federal, também disponibiliza recursos para financiamento em condições especiais quanto a prazos e taxas de encargos financeiros, para empreendimentos localizados em determinadas regiões, consideradas prioritárias na política de fomento do Banco, atuando assim, segundo o mesmo, como um grande financiador. Para projetos maiores ou iguais a R\$ 3milhões o repassador é o próprio BNDES e a taxa de juros é muito baixa, chegando a meados de 1,1% ao ano. Para Projetos menores que este valor, os juros sobem por causa do *spread* e taxas de risco e crédito do banco operador.
- ❖ O programa de Financiamento à Sustentabilidade Ambiental - FNE VERDE, do BNB objetiva desenvolver empreendimentos e atividades econômicas que propiciem a preservação, conservação, controle e/ou recuperação do meio ambiente, com foco na sustentabilidade e competitividade das empresas e cadeias produtivas, este programa prioriza projetos relacionados a energias

renováveis e eficiência energética. Prioriza projetos na área coberta pelo BNB: Nordeste, Espírito Santo e Minas Gerais. Suas taxas de juros podem ser tão baixas quanto 6,7% ao ano, e ainda com abatimento de 25% por adimplência. Ou seja, $6,7 \times 0,75 = 5,025\%$ ao ano.

- ❖ Programa Construcard da CEF – Caixa Econômica Federal. Destina-se a compra de qualquer tipo de material de construção, além de armários embutidos, piscinas, elevadores, aquecedores solares, aerogeradores e equipamentos de energia fotovoltaica. O financiamento tem duas fases: utilização e amortização. Tem se mostrado um Programa excelente para pequenos projetos residenciais e/ou comerciais. Taxas de juros em torno de 12% ao ano e facilidade de abertura de crédito.

Além destas diversidades de linhas de financiamentos incentivarem a utilização de energias renováveis, com o surgimento do Programa de incentivo a fontes alternativas (PROINFA) está sendo possível cada vez mais promover e incentivar a diversificação da Matriz Energética Brasileira, buscando alternativas para aumentar a segurança no abastecimento de energia elétrica, além de permitir a valorização das características e potencialidades regionais e locais (MME, 2014).

Segundo Ribeiro (2006), o critério de decisão, sobre a viabilidade da alternativa de investimento em análise, utilizando-se a taxa interna de retorno, é formulado a partir da escolha de uma taxa mínima de atratividade, determinada previamente. Se a TIR (ROI - *Return on Investment*) for maior do que a taxa mínima de atratividade, se aceita o projeto, isto é, o investimento programado é viável, tendo rentabilidade positiva, acima do retorno esperado.

Deste modo, o tempo de retorno do investimento, o *Pay Back*, consiste na quantificação do tempo necessário para que o dispêndio de capital – valor do investimento – seja recuperado através dos benefícios líquidos – fluxo de caixa – gerados pelo empreendimento. Ou seja, estes pontos mencionados, servem de parâmetros na tomada de decisão e execução de um projeto, principalmente no que se refere a dispêndio de capital.

4.1.14 Taxa de juros

Corresponde a taxa de juros contratada entre as partes. Pode referir-se ou não ao custo efetivo do empréstimo, dependendo das condições contratadas.

4.1.15 Prazo

Corresponde ao intervalo de tempo durante o qual o empréstimo é transferido do credor (aquele que faz o empréstimo) para o devedor (aquele que recebe o empréstimo). O prazo é dito unitário caso o empréstimo seja transferido em uma só parcela, o que não é o caso dos casos analisados neste estudo.

4.1.16 Prazo de Carência

Segundo Woiller (1986), a carência corresponde ao período compreendido entre o fim do prazo de utilização e o pagamento da primeira amortização, ou seja, é o período compreendido entre a assinatura do contrato de financiamento e o pagamento da primeira parcela de amortização do principal.

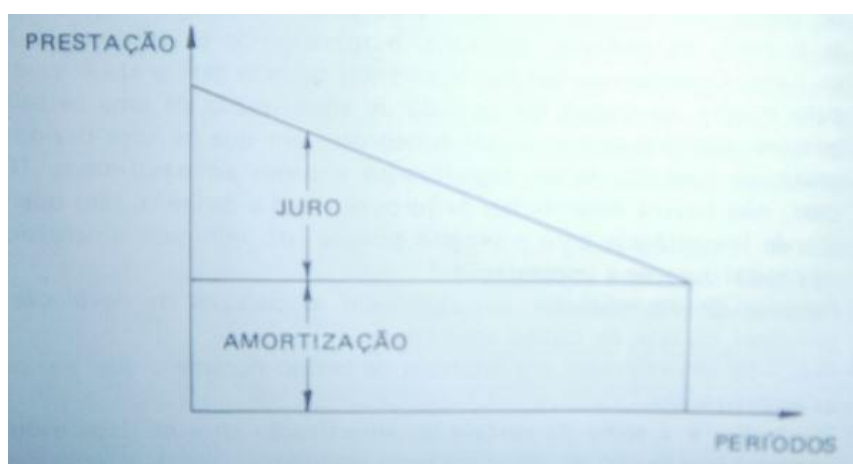
4.1.17 Prestação

É a soma da parcela de amortização com os juros e outros encargos que devem ser pagos em certos períodos (WOILER, 2006).

4.1.18 Amortização (SAC)

É o período que se inicia imediatamente após o término da carência, quando tem início o pagamento do principal dos recursos contratados no financiamento. Esta periodicidade normalmente é mensal, porém, alguns Programas de Financiamento poderão ter periodicidade trimestral ou semestral.

Figura 41 - Sistema de amortização constante



Fonte: WOILER, 1986.

Nesta modalidade de amortização, segundo Woiler (1986), as parcelas são iguais entre si. Os juros de um período são calculados pela multiplicação da taxa de juros contratada pelo saldo devedor existente no período anterior.

4.1.19 Valor Presente Líquido (VPL)

O VPL é considerado um dos indicadores existentes que tem como objetivo avaliar a viabilidade de um projeto de investimento através do cálculo do valor atual de todos os seus fluxos de caixa.

Segundo Freire (2011), corresponde à diferença entre os valores atualizados das entradas e saídas de dinheiro durante o período de vida útil do projeto, calculados para o ano zero. O VPL, determinado pela equação da Figura 42, é um critério de decisão com base na seguinte regra:

Figura 42 - Equação: Cálculo VPL.

$$\boxed{\text{VPL}} = \sum_{t=0}^n \left[\frac{R_t - D_t}{(1+i)^t} \right] - \sum_{t=0}^n \left[\frac{I_t}{(1+i)^t} \right]$$

Fonte: Adaptado de FREIRE (2011).

Onde:

I_t corresponde ao investimento no ano t ;

R são as receitas brutas de exploração no ano t ;

D corresponde às despesas brutas de exploração no ano t ;

i é a taxa de atualização;

n o tempo de vida útil do projeto em anos.

- ❖ Se o valor for positivo ($\text{VPL} > 0$), o projeto será economicamente viável porque permite não só cobrir o investimento como gerar a remuneração exigida pelo investidor (o custo de oportunidade) e ainda excedentes financeiros;
- ❖ Se o valor for nulo ($\text{VPL} = 0$), é o caso limite em que o investidor ainda recebe a remuneração exigida;

- ❖ Se o valor for negativo ($VPL < 0$), considera-se a princípio, o projeto economicamente inviável.

4.1.20 Taxa Média de Atratividade (TMA)

A Taxa de Atratividade corresponde ao capital disponível na empresa direcionado a investimentos. Ou seja, é a melhor taxa para investir com o menor grau de riscos.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os aspectos relativos às etapas de execução da pesquisa.

Marconi e Lakatos (2008) define que esta pesquisa é de pensamento reflexivo. Deve-se inicialmente definir um referencial conceitual para o trabalho e analisar a literatura sobre o assunto.

5.1 NATUREZA E CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa é definida como exploratória, pois permite ao pesquisador aumentar sua experiência em torno de determinado problema, além de servir para levantar eventuais possíveis e novos problemas de pesquisa; E descritiva, pois pretende descrever “com exatidão” os fatos e fenômenos de determinada realidade (SOUZA, 2012).

Trata-se de um estudo descritivo-exploratório de natureza quantitativa no qual foi utilizada uma ferramenta de caráter quantitativo como instrumento de apoio.

5.2 FERRAMENTA EVTE

Uma pesquisa com o uso desta ferramenta procura demonstrar a um potencial agente de financiamento para o protótipo, se uma ideia proposta é viável ou não.

Thomson (2005) define Estudo de Viabilidade como sendo um processo controlado para identificar problemas e oportunidades, determinar objetivos, descrever situações, definir resultados de sucesso e avaliar a faixa de custos e benefícios associados às varias alternativas de solução de um problema.

Conforme Tabela 5, as variáveis utilizadas neste estudo foram:

Tabela 5 - Variáveis utilizadas para análise

VARIÁVEIS UTILIZADAS PARA ANÁLISE	
1. Classificação da Planta	
2. Insolação padrão e temperatura	
3. Eficiência de conversão solar	
4. Área útil de cada módulo	
5. Potência de pico de cada módulo	
6. Insolação anual, diária e mensal na latitude	
7. Capacidade estimada de produção por módulo	
8. Produção anual estimada de energia elétrica	
9. Tarifa da distribuidora	
10. Investimento	
11. Tempo de retorno do investimento (<i>Pay Back</i>)	
12. Taxa interna de retorno (TIR)	
13. Financiamento	
14. Taxa de juros	
15. Prazo	
16. Prazo de carência	
17. Prestação	
18. Amortização (SAC)	
19. Valor Presente Líquido (VPL)	
20. Taxa Média de Atratividade (TMA)	

Fonte: Autora, 2014.

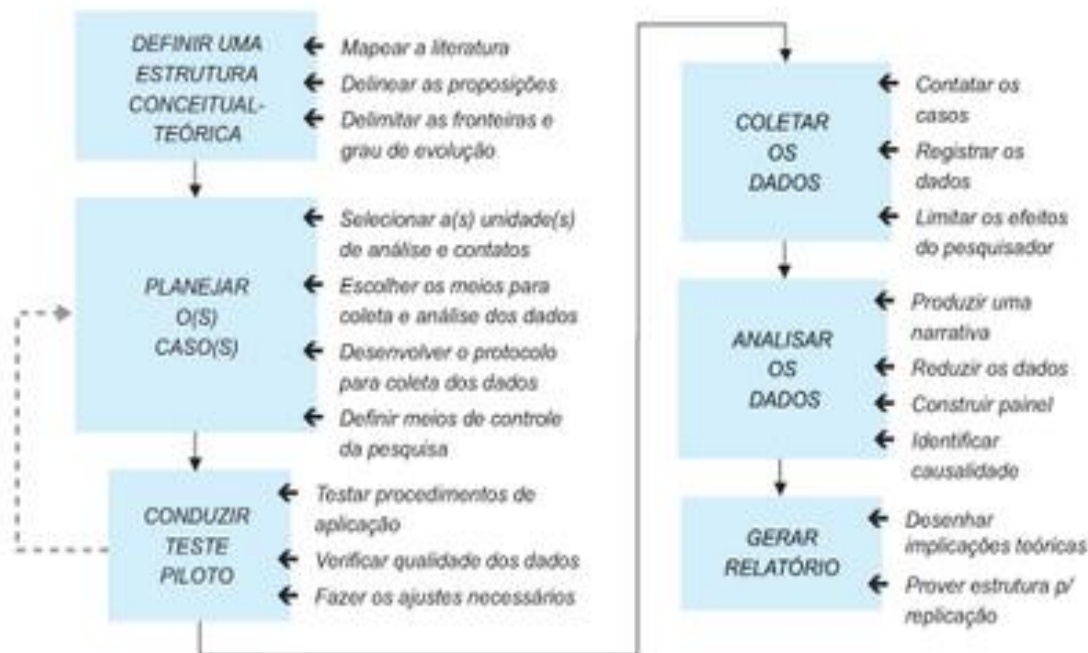
5.3 METODOLOGIA ADOTADA NA PESQUISA

Os procedimentos metodológicos para realização da pesquisa se deram através de visitas *in loco*, observação direta, análise documental e registros de dados além da aplicabilidade da teoria.

Esta pesquisa utilizou um estudo de múltiplos casos, e foi a metodologia mais pertinente visto que é uma abordagem mais utilizada na Engenharia de Produção.

Yin (2001) define como sendo um estudo de caráter empírico o estudo que investiga um fenômeno atual no contexto da vida real, geralmente considerando que as fronteiras entre o fenômeno e o contexto onde se insere não são claramente definidas. Na Figura 43 é apresentado um diagrama sobre a pesquisa através da análise de estudo de caso.

Figura 43 - Condução do estudo de caso



Fonte: MIGUEL, 2010.

5.4 ÁREA E AMBIENTE DA PESQUISA

A área e o ambiente de pesquisa foi realizado na região Nordeste do Brasil, abrangendo especificamente, os estados da Paraíba (PB); Pernambuco (PE) e Rio Grande do Norte (RN). É imprescindível citar que o Nordeste do Brasil possui grande potencial relacionado à geração de energia elétrica a partir da energia solar. Isto se dá, devido ao fato de que boa parte do território que compreende esta região está situada em uma faixa onde a incidência de raios ultravioletas atinge um dos maiores níveis do mundo durante o decorrer do ano, como citado anteriormente, a escala IUV varia na faixa entre 10 e 15 nessas regiões.

Esta escala associa o fluxo de radiação ultravioleta capaz de causar danos à pele humana, ou seja, cada unidade IUV compreende em $0,025 \text{ W.m}^{-2}$ de raios ultravioletas biologicamente ativos. Os valores citados acima estão em uma

classificação indicada como “extrema” com relação ao fluxo de raios ultravioleta (CORRÊA, 2009).

Embora esta unidade de medição esteja associada com os danos à saúde, se pode ter noção dos níveis gerais de raios ultravioletas que são emitidos nessas regiões. Parte da explicação para estes níveis excessivos está ligada à fina camada de ozônio acima do território brasileiro, além da posição geográfica do país perto de latitudes próximas de zero (CORRÊA, 2009).

O primeiro local escolhido para o estudo foi realizado em uma indústria de calçados localizada no estado da Paraíba, na cidade de Santa Rita, um dos municípios que abrange a capital Paraibana, João Pessoa.

Figura 44 - Localização: Santa Rita - PB

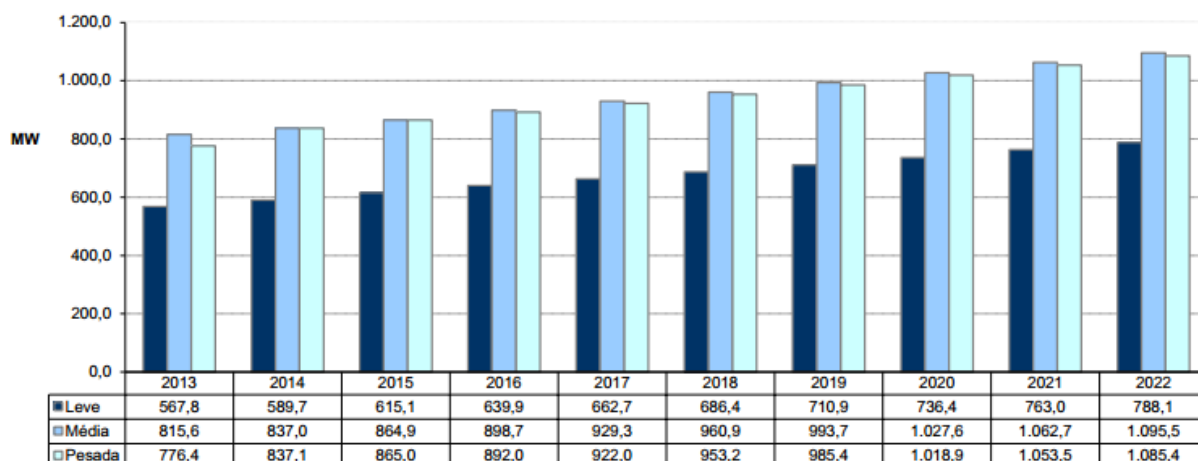


Fonte: Google Maps, 2014.

A cidade de Santa Rita Possui aproximadamente 125.278 habitantes e o estado da Paraíba 3.914.421 (IBGE, 2014). Conforme o plano decenal de expansão de energia realizado em 2013, os empreendimentos de geração atualmente em operação no estado da Paraíba totalizam cerca de 600 MW de capacidade instalada.

Segundo Brasil (2013), a carga do estado da Paraíba prevista para o período 2013-2022 representa, em média, cerca de 6% do total da região Nordeste, com crescimento médio anual da carga pesada em torno de 3,8 %.

Figura 45 - Evolução da carga do Estado da Paraíba



Fonte: Brasil, 2013.

O segundo local analisado trata-se de uma empresa especializada em serviços educacionais localizada na cidade de Caruaru –PE.

Figura 46 - Localização: Caruaru - Pernambuco



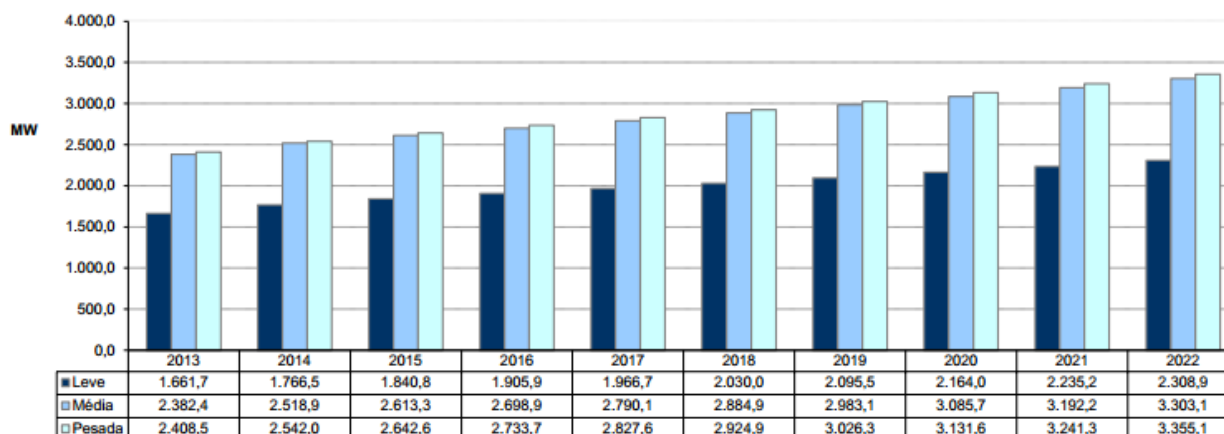
Fonte: Google Maps, 2014.

A cidade de Caruaru possui aproximadamente, segundo o último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2013), um total de 337. 416 habitantes e o Estado de Pernambuco possui um total de 9.208.550.

Ressalta-se que, no Estado de Pernambuco, os empreendimentos de geração atualmente em operação, contemplam a UHE Luiz Gonzaga (1.479 MW), localizada na fronteira com a Bahia, e usinas termelétricas que totalizam cerca de 1.600 MW.

As previsões de demanda das cargas que serão utilizadas entre os anos de 2013 até meados de 2022, representam em média, cerca de 20% do total da região Nordeste, com crescimento médio anual de 3,8%, como mostra a Figura 47.

Figura 47 - Evolução da carga do Estado de Pernambuco



Fonte: Brasil, 2013.

Já o terceiro e último local analisado se trata de uma indústria mineradora na cidade de Governador Dix Sept Rosado, no estado do Rio Grande do Norte. O Município de Governador Dix Sept Rosado (RN) foi agraciado pela natureza, possuindo grandes reservas de calcário, considerada entre as melhores do Brasil. Esta cidade, atualmente possui um total de 12.934 habitantes, sendo pertencente ao estado do Rio Grande do Norte, com 3.373.959.

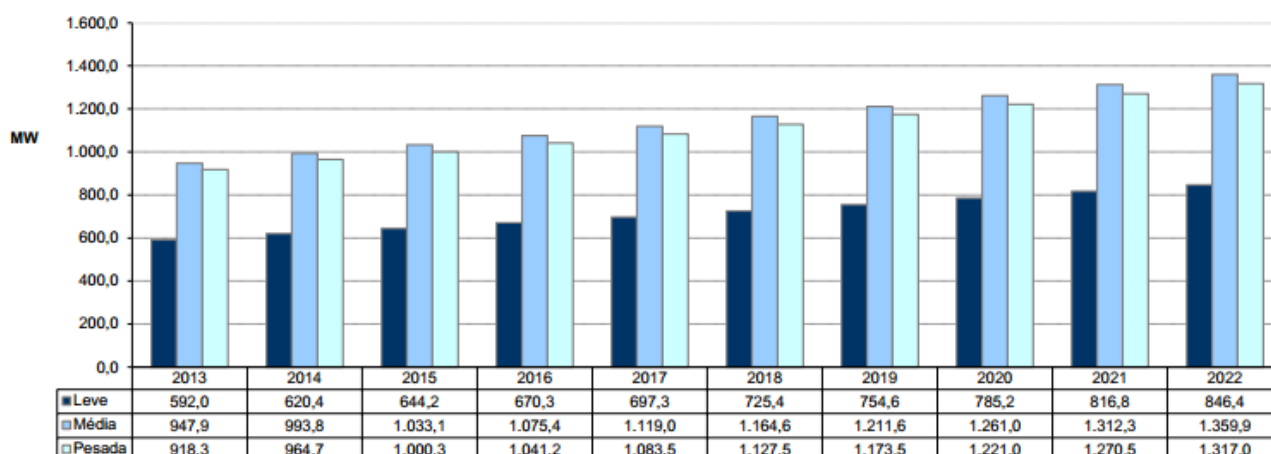
Figura 48 - Localização: Dix Sept Rosado - RN



Fonte: Google Maps, 2014.

Este estado dispõe atualmente de uma capacidade instalada de cerca de 900 MW, sendo 40% deste total referente às usinas eólicas. A previsão de cargas para os próximos anos representam cerca de 7,2% do total da região Nordeste, com crescimento médio anual da carga pesada da ordem de 4,1%, como é exposto na Figura 49.

Figura 49 - Evolução da carga do Estado do Rio Grande do Norte

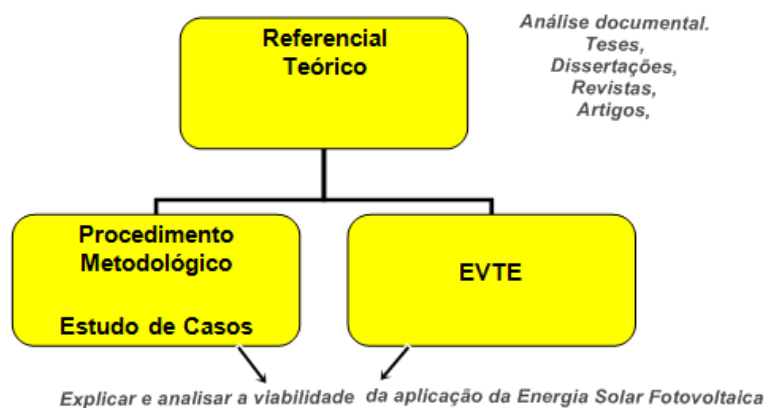


Fonte: Brasil, 2013.

Através das previsões decenais demonstradas é possível reafirmar a crescente demanda local por energia. Por isso, a intensificação do uso de fontes alternativas consideradas limpas, como sendo uma forma de minimizar os grandes impactos no meio ambiente.

5.5 ETAPAS DA PESQUISA

Figura 50 - Etapas da pesquisa



Fonte: Elaboração pela autora

Inicialmente foi elaborado um referencial teórico sobre a Energia Solar Fotovoltaica de maneira global. Após esta etapa, realizou-se uma específica para a região Nordeste do Brasil. Todo o contexto teórico esteve baseado em livros, artigos, dissertações e teses, de forma a compreender a sua história, potencial, tecnologia, custo, mercado e regulamentação.

Segundo Miguel (2010), o pesquisador deve estudar as possíveis abordagens a serem utilizadas, selecionando as que forem mais apropriadas, úteis e eficazes para a investigação ou, em outras palavras, que deverá atender a problemática estudada no sentido da proposição de soluções.

Diante desta etapa, realizou-se uma análise documental da energia solar no Brasil, através de diversas fontes do Governo, tais quais: MME, ANEEL, EPE e de instituições especializadas como a CRESESB, IEA e WEO. Em seguida com os dados das últimas décadas e projeções decenais foram então detalhados pontos cruciais para o desenvolvimento e levantamentos de pensamentos reflexivos sobre o tema.

6 ESTUDOS DE CASOS

São vários os locais e indústrias em todo Brasil que estão utilizando a energia solar. Uma visualização mais evidente desse uso está nos estádios reformados ou construídos para Copa do Mundo FIFA de 2014. Projetos como a Itaipava Arena Pernambuco, a Itaipava Arena Fonte Nova e o Estádio Magalhães Pinto, Mineirão, por exemplo, possuem módulos fotovoltaicos instalados na fachada Mineirão e Itaipava Arena Fonte Nova, ou em parques solares próximos como na Itaipava Arena Pernambuco.

O “Mineirão” possui placas fotovoltaicas acopladas à cobertura de concreto remanescente da construção original. Instalou-se cerca de 6 mil módulos fotovoltaicos com potência de 1,42 MWp. A energia gerada é injetada na rede de distribuição do Estado de Minas Gerais por meio da subestação de alimentação do estádio, com retorno de 10 % da energia gerada para o estádio.

Como efeito de comparação, a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos é suficiente para o abastecimento de aproximadamente 900 residências de médio porte (ABRAVIDRO, 2013). Isso mostra o potencial envolvido na acomodação dos módulos fotovoltaicos pelos cenários urbanos sem haver interferência no resultado final de projetos arquitetônicos diversos.

De acordo com Oliveira (2014), a Arena Pernambuco foi construída com capacidade de aproximadamente 46 mil lugares. Ressalta-se que desde o ano de 2011 a energia Solar vem sendo prioritária na Matriz.

A usina de geração de energia solar da Arena Pernambuco, na copa realizada em julho de 2014, captou a luz emitida pelo sol por meio dos painéis fotovoltaicos, transformando a luminosidade em energia elétrica e, com o auxílio de um inversor a corrente contínua transformou-se em alternada. Neste momento, a energia produzida foi entregue ao sistema elétrico do estádio ou à rede de distribuição convencional. Deste modo, aderindo às novas regras de incentivo do setor elétrico, respaldando-se na norma regulatória 482 da ANEEL.

Segundo Odebrecht (2014), além do aproveitamento de uma fonte renovável, os sistemas de geração solar reduzem perdas por transmissão e distribuição, uma vez que a energia é consumida no local em que é produzida. O diagrama unifilar do

uso da energia solar no estádio Arena Pernambuco pode ser visualizado nos anexos.

Além dos novos estádios de futebol, no Brasil existem outras demandas no uso da energia solar, no qual estão especificados abaixo:

O setor educacional brasileiro tem provocado dinamismo da economia nacional e atualmente constitui-se em um setor atraente para investidores estrangeiros ou não. As formas de investimento variam desde ações na bolsa até a compra de instituições brasileiras por parte de grupos internacionais o que significa dizer que a tendência é a inovação e investimento em novas tecnologias para suprir e maximizar cada vez mais o funcionamento deste nicho.

Sobretudo, ressalta-se que as instituições de ensino estão percebendo a necessidade de adaptação e de modernização em seus processos. Nota-se, portanto, uma preocupação maior com a questão da eficiência energética, além da prioridade em relação a projetos que tratam as questões ambientais como lema oficial em sua missão.

A indústria calçadista brasileira também possui uma importante posição dentro deste mercado, visto que o país em 2012 fechou as exportações com um total de 113,2 milhões de pares que geraram US\$ 1,092 bilhão em divisas para o país (ABICALÇADOS, 2013). Em relação ao setor de mineração, segundo o Conselho Internacional de Mineração e Metais (2013), a riqueza de recursos naturais do país, combinada à prosperidade dos setores de produção e serviços, permitiu ao Brasil alcançar taxas de crescimento impressionantes nos últimos 10 anos.

O Brasil possui uma economia nacional altamente diversificada, sem o predomínio de nenhum setor específico. Ainda assim, o setor da mineração é expressivo: é o maior de todos segundo algumas dimensões e um dos que mais crescem o que lhe permite desempenhar um importante papel no desenvolvimento econômico e social futuro do Brasil (CIMM, 2013).

São vários os setores que estão investindo seus recursos nesta tecnologia tão promissora que é a Energia Solar Fotovoltaica. A seguir os casos escolhidos neste estudo.

6.1 ARENA PERNAMBUCO

O estudo de caso Arena Pernambuco se tratou de um estudo *in loco* no qual foi possível realizar visitas técnicas e observar todas as instalações internas e externas do local. Foi possível analisar as aplicações realizadas e planejadas para a Copa do Mundo 2014. Diferentemente dos outros cases, este é um caso extra da pesquisa.

As instalações realizadas na Arena tiveram um histórico positivo, garantiram, em dias fora de evento, até 100% de atendimento energético de suas instalações. Na figura 51 é possível observar a grandeza do empreendimento.

Figura 51 - IAPE - Usina Fotovoltaica



Fonte: Oliveira e Bechara, 2014.

A área construída da Usina Fotovoltaica correspondeu a 15.000m², o que possibilitou uma potência instalada de 1 MWp, portanto a capacidade total foi estimada em 1666,2 MWh/ano em geração de energia.

No total, foram instalados 3972 módulos, distribuídos para o sistema central e alguns para o sistema de pesquisa (5%). Em 3.620 foram utilizadas a tecnologia do Silício Monocristalino direcionado para o sistema central. Além disso, para o sistema de pesquisa foram introduzidos 40 de Silício – monocristalino, 49 Silício – policristalino, 72 Silício – Amorfo, 78 com a tecnologia CIGS e 113 Silício – policristalino.

Importante ressaltar que as tecnologias abordadas acima foram previamente detalhadas no item 3.5 desta Dissertação. Para melhor visualização da implantação segue Figura 52.

Segundo Oliveira e Bechara (2014) para se obter estes dados foram realizadas pesquisas aprofundadas do cálculo da demanda a ser contratada à concessionária de energia local para que pudesse atender a necessidades, sendo este um dos maiores desafios, pois os estudos foram realizados a fim de alimentar os dois perfis de funcionamento: modo evento e modo administrativo.

Figura 52 - Painéis Solares do Sistema Central



Fonte: Oliveira e Bechara, 2014.

Como dito anteriormente, a Arena foi concebida com uma capacidade de geração da ordem de 1666,2 MWh/ano. Logo, foi projetada uma redução de custos mensais de aproximadamente R\$ 30.547,00 e uma redução de custos de R\$ 10.996.920,00 ao longo do período de concessão que é de 30 anos.

Segundo relatos de engenheiros, técnicos e especialistas da implantação do sistema, o mesmo, operou tranquilamente e houve uma redução significativa do consumo de energia.

A Figura 53 mostra um demonstrativo de mês a mês, durante o ano de 2014, da geração estimada da unidade solar fotovoltaica, além da exibição da tarifa

cobrada a distribuidora local pernambucana, a Celpe. De fato, valores bastante atrativos quando pensados a curto, médio ou a longo prazo.

Figura 53 - Demonstrativo de Geração Estimada da USF 2014

MÊS	GERAÇÃO USF (MWh)	TARIFA CELPE R\$0,22 X KWh/MÊS	VALORES OBTIDOS NO MÊS
JANEIRO	148,30	R\$ 0,22	R\$ 32.626,00
FEVEREIRO	138,90	R\$ 0,22	R\$ 30.558,00
MARÇO	151,00	R\$ 0,22	R\$ 33.220,00
ABRIL	139,90	R\$ 0,22	R\$ 30.778,00
MAIO	134,10	R\$ 0,22	R\$ 29.502,00
JUNHO	89,60	R\$ 0,22	R\$ 19.712,00
JULHO	126,20	R\$ 0,22	R\$ 27.764,00
AGOSTO	147,70	R\$ 0,22	R\$ 32.494,00
SETEMBRO	129,90	R\$ 0,22	R\$ 28.578,00
OUTUBRO	153,50	R\$ 0,22	R\$ 33.770,00
NOVEMBRO	159,00	R\$ 0,22	R\$ 34.980,00
DEZEMBRO	148,10	R\$ 0,22	R\$ 32.582,00
TOTAL ANUAL	1666,20		R\$ 366.564,00
PROJEÇÃO PARA 30 ANOS			R\$ 10.996.920,00

Fonte: Oliveira e Bechara, 2014.

Na Figura 54, a linha azul refere-se ao consumo energético do local sem influência alguma da Unidade Solar Fotovoltaica (USF) e a linha vermelha o consumo energético com influência (Em kWh/mês). Ressalta-se que o período analisado compreende os meses de maio/2013 até agosto/2014, pós Copa.

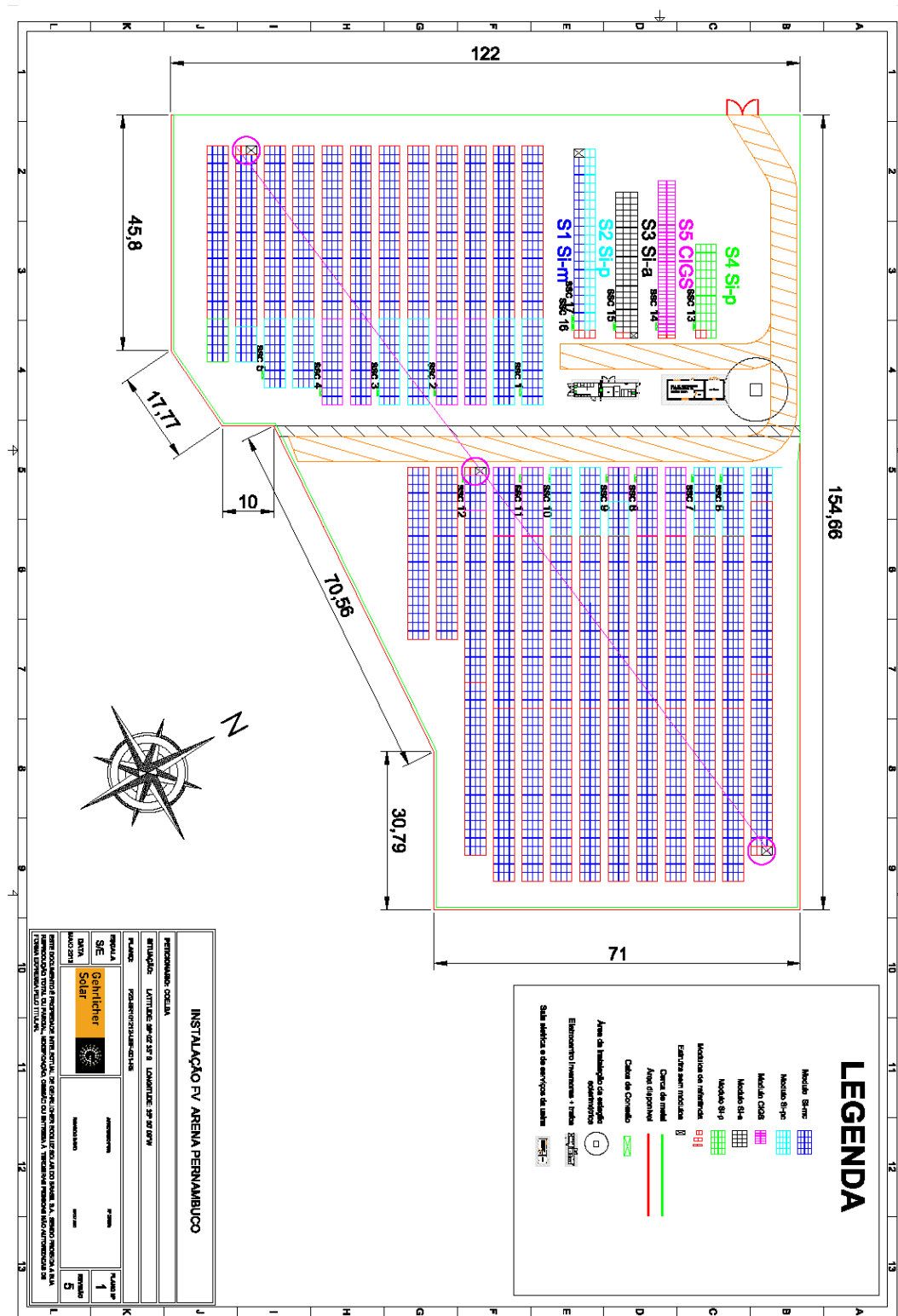
Figura 54 - Influência da USF no Consumo de Energia



Fonte: Oliveira e Bechara, 2014.

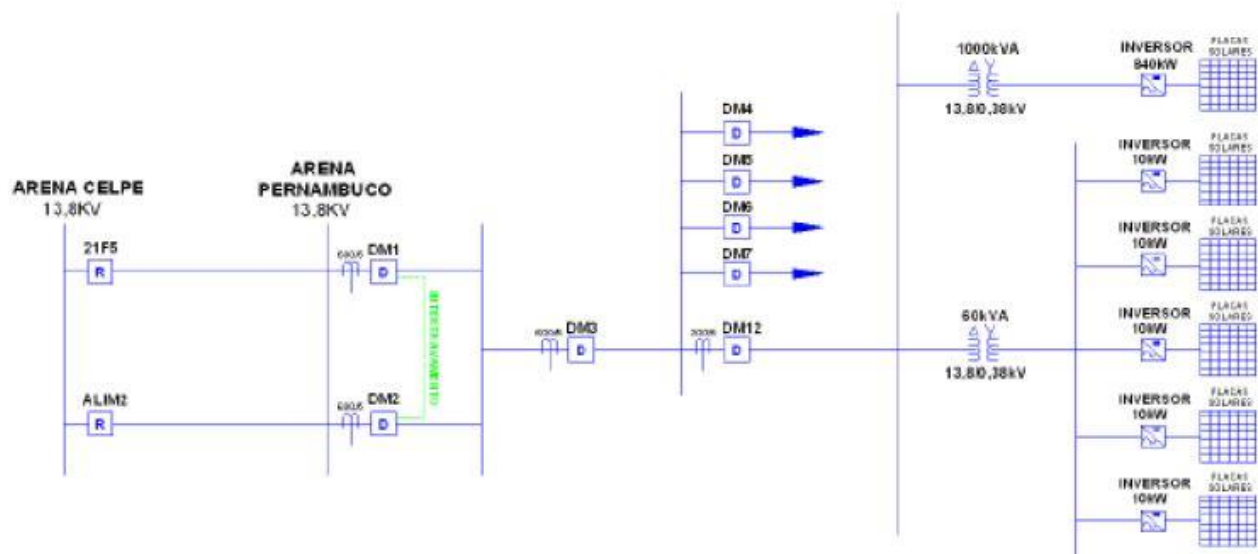
Segue, nas Figuras 55 e 56, a representação gráfica das instalações realizadas:

Figura 55 - Diagrama Unifilar geral - Arena Pernambuco



Fonte: Arquivo cedido para Autora, 2014.

Figura 56 - Diagrama Unifilar simplificado Arena PE



Fonte: Arquivo cedido para Autora, 2014.

6.2 INDÚSTRIA DE CALÇADOS

O primeiro caso analisado corresponde a uma indústria brasileira do ramo de calçados e lonas existente desde 1907. Uma das maiores organizações privada brasileira, presente no mundo todo. Possui como missão conquistar os consumidores por meio de marcas e produtos diferenciados e de alto valor percebido, criando valor para acionistas, empregados, fornecedores e clientes além de um de seus principais critérios serem atuar com responsabilidade social e ambiental.

A matriz da empresa está sediada em São Paulo e possui 13 unidades de produção no Brasil, sendo cinco fábricas e oito satélites. As operações internacionais próprias estão sediadas em: Buenos Aires, Nova York, Madri, Londres e Bolonha. Na Argentina, a produção é realizada em oito fábricas distribuídas no país.

Com sede em São Paulo a empresa possui fábricas distribuídas em: Campina Grande-PB; Carpina-PE; Mogi Mirim – SP; Montes Claros-MG; João Pessoa – PB; além de Santa Rita-PB, que especificamente se refere à indústria analisada.

A oportunidade de se implantar um sistema fotovoltaico utilizando corrente contínua sem a necessidade de investimento em inversores surgiu através da precisão de uma redução de custos relacionados ao uso das máquinas que realizassem a movimentação e empilhamento dos produtos em todo processo industrial.

Ressalta-se que a empresa analisada possui baterias tracionárias para movimentar as empilhadeiras e transpaleteiras (Figura 56) elétricas e dar suporte em todo o processo de produção. Para o funcionamento adequado das mesmas, a demanda para recarga das baterias requer um sistema fotovoltaico de aproximadamente 117,6 kWp.

Devido às características relevantes, esta situação analisada torna-se um caso atípico de uso de energia Fotovoltaica, pois nesta aplicação a central irá “operar em ilha”, o que significa a não utilização da Norma Aneel 482. Para um melhor entendimento, a indústria irá produzir sua própria energia e utilizá-la no mesmo local, sem a necessidade de injetá-la na rede como Smart Grid.

Figura 57 - Exemplo de Transpaleteira elétrica



Fonte: Cat-lift.com, 2014.

De tal maneira, como afirma Reis (2006) para prosseguir um projeto de eficiência energética é imprescindível o conhecimento do nível de radiação solar incidente no local onde se instalará o coletor do sistema de geração elétrica.

Desta forma, para implementação desta tecnologia na empresa paraibana, previamente foram coletadas médias mensais a fim de obter a média anual da insolação Incidente sobre uma superfície horizontal.

Estas médias foram calculadas através de um software da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) como é mostrado na Tabela 6:

Tabela 6 - Média de insolação anual na latitude de João Pessoa/PB. (kWh / m² / dia)

Lat -5.459	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
Lon -37.521													Average
22-year Average	5.91	5.82	5.50	5.00	4.63	4.17	4.32	5.05	5.64	5.75	6.09	6.06	5.32

Fonte: NASA, 2014.

Com estes dados obteve-se então a projeção anual equivalente a 1.941,8 kWh/m²/ano e capacidade estimada de produção de energia elétrica por módulo de 474,8 kWh/ano-módulo (1.941,8 x 1,63 x 0,15). Obtendo-se assim, uma produção anual estimada de energia elétrica equivalente a 227.890 kWh/ano (474,8 x 480).

O módulo selecionado foi o Yngli Panda, fabricado na china, modelo YL265C-30b. Sua eficiência de conversão solar/elétrica compreendeu a aproximadamente 15%. Neste caso os módulos inseridos foram os de silício Policristalino.

Os componentes dos módulos selecionados apresentam as características típicas dos equipamentos disponíveis para esta aplicação, apresentando confiabilidade e qualidade adequadas para instalações fotovoltaicas de grande porte. Igualmente em todos os casos, a insolação padrão considerada foi de 1000W/m² a uma temperatura de 25°C, além disso, a área útil de cada módulo correspondeu a 1,63 m² e sua potência de pico, ou seja, a capacidade máxima de produção de energia, variou entre 265Wp (Mono) ~ 245Wp (Poli).

O estudo de viabilidade foi direcionado para uma central de 117,6 KWp nesta indústria calçadista, e a potência de pico de cada painel fotovoltaico foi estimado em 245W. Sendo assim, para atender a necessidade da central foram necessários 480 módulos. O investimento a ser realizado para a instalação de uma Central Fotovoltaica completa compreendeu um montante de R\$ 764.400,00.

Esse montante refere-se às inversões e aplicações de recursos, inicialmente, aos gastos com a sua implementação física e posteriormente com o seu funcionamento efetivo, quando da entrada em operação normal da unidade produtiva, objeto do projeto de viabilidade em elaboração.

Para um melhor entendimento, segue Tabela 7, com detalhamento de alguns dados financeiros e técnicos do empreendimento, medida através dos métodos usualmente utilizados nos processos de tomada de decisão empresarial sobre investimentos de longo prazo (RIBEIRO, 2006).

Tabela 7 - Estudo de Viabilidade Case I

DADOS GERAIS	UNIDADE	
Classificação da Planta	Micro	
Potência da Planta	117,6	KWp
Potência de cada painel FV	245Wp	Wp
Quantidade de painéis	480	Painéis
Insolação média diária	5,32	kWh/ m ² -dia

Eficiência da Fotoelétrica	15	%
Produção elétrica específica	227.890	kWh/m ² -ano
Área painel Yngli Panda 265W	1,63	m ²
Produção elétrica anual por painel	474,8	kWh(E)/ano
Produção elétrica da Planta	227.890	kWh(E)/ano
Custo unitário da energia (Tarifa Verde)	0,45	R\$/kWh
Economia financeira	102.550,34	R\$ /ano
Investimento total	764.400,00	R\$
R.O.I. (pay-back)	7,5	anos
TIR	61,0	%
Valor Presente Líquido (taxa de atratividade 15% ao ano)	97.299,23	R\$
Área necessária p/ instalação	782,4	m ²

Fonte: Autora, 2014.

O custo médio unitário do kWh da energia apresentou um valor específico de 0,45 R\$/kWh. Ressalta-se que este valor foi cobrado da distribuidora local Paraibana, a ENERGISA.

A Tarifação utilizada foi a Horo sazonal Azul (A4). Segundo PROCEL (2009), consiste em uma modalidade de tarifa que se aplica preços diferenciados à energia elétrica, de acordo com o horário do dia (horários de ponta e fora de ponta) e período do ano (seco e úmido). Uma vez que a tarifa assumiu este valor, o estudo de viabilidade permitiu contabilizar uma economia financeira no valor de R\$ 102.550,34/ano o que implica uma economia de energia referente a 227.890kWh/ano.

O VPL, ou seja, todos os valores do fluxo de caixa na data zero corresponderam a R\$ 97.299,23. Segundo Freire (2011), quando o VPL > 0 indica que o projeto merece continuar sendo analisado, sobretudo quando o VPL é superior a contrapartida inicial para o investimento.

A partir dos estudos realizados foi estimado um tempo de 7,5 anos para que se tenha a recuperação do valor do investimento através dos benefícios líquidos – fluxo de caixa – gerados por esta indústria calçadista.

Como mencionado anteriormente no item 4.1.13, existem linhas de financiamento que atualmente incentivam projetos que prezem a recuperação do meio ambiente com foco na Sustentabilidade, preservação, conservação, o bem comum para a sociedade e, sobretudo competitividade nas empresas e cadeias produtivas.

Para uma melhor visualização segue Tabela 8 onde se tem um detalhamento da viabilidade deste projeto através do Financiamento BNB – FNE Verde:

Tabela 8 - Estudo de viabilidade Via Financiamento BNB – FNE Verde Case I

VIABILIDADE VIA FINANCIAMENTO	
VALOR FINANCIADO (80%)	R\$ 687.960,00
CONTRAPARTIDA (20%)	R\$ 76. 440,00
TAXA DE JUROS	6.70% a.a
PRAZO DO FINANCIAMENTO	12 anos
CARÊNCIA	0 ano
PRESTÂNCIA ANUAL	R\$ 90.378,12
RETORNO DE CAIXA	0,7 anos
TIR	61,0% a.a
VPL (Taxa atratividade = 15% a.a)	R\$ 97.299,23

Fonte: Autora, 2014.

Considerando o investimento inicial no valor total de R\$ 764.400,00 (sendo contrapartida (20%) e o valor financiado (80%) pelo banco) e as entradas de caixa (receitas líquidas) anuais no período de 12 anos, verifica-se que as receitas geradas são no valor de R\$ 102.550,00 e a partir do sétimo ano já será possível ter um saldo em caixa superior às receitas geradas.

Em suma, com a implantação desta central, a economia financeira anual prevista foi de R\$ 102. 550,34. A taxa de atratividade neste caso foi considerada sendo de 15% a.a. Dado este que permite concluir pela viabilidade do projeto, pois o Valor Presente Líquido permite não só cobrir o investimento, como gerar a remuneração exigida pelo investidor, no caso, o custo de oportunidade.

Para conhecimento, a Taxa de Atratividade, corresponde ao capital disponível na empresa direcionado a investimentos. Ou seja, é a melhor taxa para investir com o menor grau de riscos. A Taxa Interna de Retorno (61%) apresentou-se superior à

taxa mínima de atratividade, ou seja, confirmando mais uma vez a aceitabilidade e viabilidade do projeto. Para Oliveira (1982) se $TIR > TMA$ é porque haverá lucros no projeto.

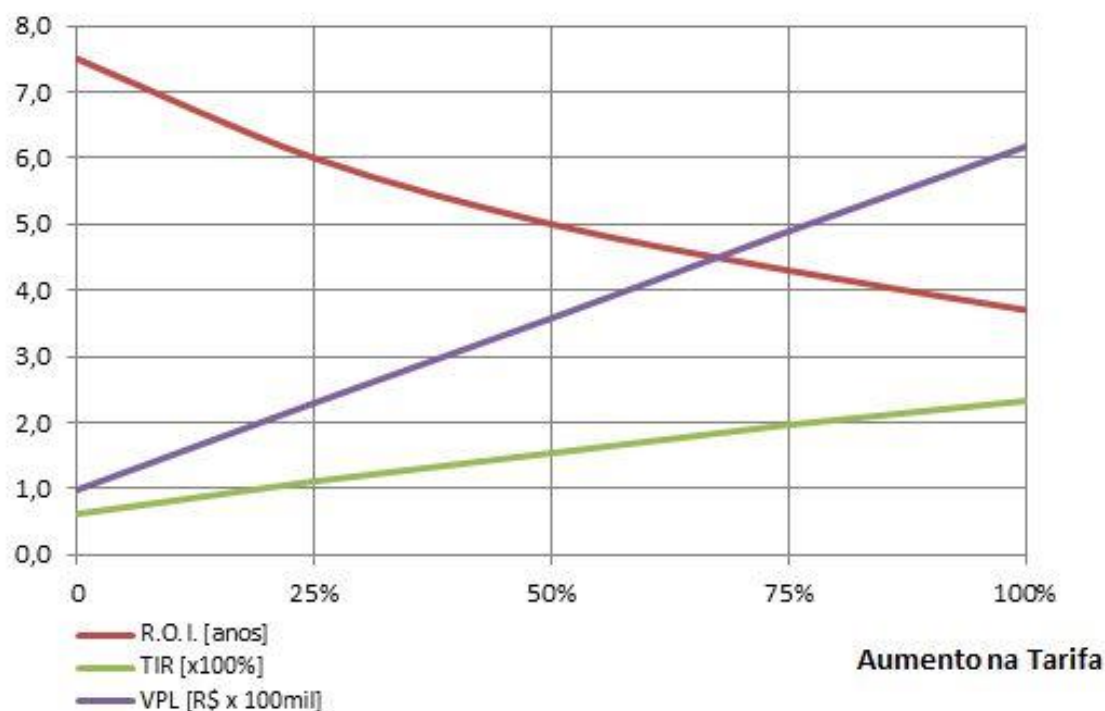
Em tempos de crise no Setor Elétrico Brasileiro, diante de todo o aumento tarifário da energia elétrica, e visto que cada vez mais se torna urgente à procura por fontes alternativas, procurou-se utilizar o gráfico da análise de sensibilidade.

Atualmente, nota-se que à medida que as tarifas veem aumentando há uma procura superior dos sistemas fotovoltaicos, passando a existir uma forte economia de escala. Sendo assim, os preços, como anteriormente já comprovados, reduzem.

Nota-se, conforme Figura 57, que mesmo com o aumento das tarifas de energia chegando a 100%, o tempo de retorno do investimento (ROI) diminui o que é um fator bastante positivo e primordial se tratando de uma tecnologia e uma inovação com foco na sustentabilidade.

Há um pequeno aumento na taxa interna de retorno, e o VPL segue uma trajetória satisfatória, confirmando a total viabilidade do projeto mesmo com as possíveis oscilações do mercado.

Figura 58 - Análise de Sensibilidade ao Aumento da Tarifa de Energia Elétrica Case I



Fonte: Elaboração Própria, 2014.

A análise de Sensibilidade é bastante utilizada no setor elétrico, principalmente quando se trata de previsões ou expectativas de valores que irão acontecer em um futuro próximo (LEITE, 2013). Foi possível verificar, se caso o aumento da tarifa chegasse a 100% do total atual, o ROI assumiria 3,5 anos, a taxa interna de retorno iria a 232,8% e o VPL 6,9 (R\$x 100mil) e ainda assim o projeto continuaria sendo viável.

6.3 EMPRESA DE SERVIÇO EDUCACIONAL

O segundo estudo de viabilidade analisado realizou-se em uma instituição de ensino superior privada que há 55 anos vem atuando no interior de Pernambuco. O complexo educacional vem despontando cada vez mais como um centro de excelência e inovação em diversas áreas. Por isto a oportunidade de se instalar um sistema fotovoltaico utilizando a Energia proveniente dos raios solares foi evidenciada.

Igualmente em todos os casos, a insolação padrão considerada foi de 1000W/m^2 , temperatura de 25°C , área útil de cada módulo sendo $1,63\text{ m}^2$. O EVTE neste caso foi direcionado para uma central de 352,8 kWp, visto, a necessidade do local. A potência de pico de cada módulo, ou seja, a capacidade máxima de produção de energia de cada célula correspondeu a 245Wp. Logo, subte-se que foram utilizados 1.440 painéis ($352.800\text{W}/245\text{W}$). Ressalta-se que a eficiência de conversão solar/elétrica foi realizada via painéis com a tecnologia Poli cristalina.

Os níveis de radiação solar incidente no local onde se instalará o coletor do sistema de geração elétrica foram calculados conforme a Tabela 9:

Tabela 9 - Média de insolação anual na latitude de Caruaru/PE. ($\text{kWh} / \text{m}^2 / \text{dia}$)

Lat -8.27	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
Lon -35.97													Average
22-year Average	5.81	5.80	5.45	4.87	4.42	3.89	3.99	4.59	5.24	5.80	5.93	5.90	5.14

Fonte: NASA: 2014.

A insolação diária média foi estimada em $5,14\text{kWh}$. Logo, com estes dados foi permitido obter uma projeção anual equivalente a $1.876,4\text{ kWh/m}^2$ a.a e capacidade estimada de produção de energia elétrica por módulo de aproximadamente $458,8\text{ kWh/ano-módulo}$ visto que a eficiência de conversão solar elétrica assumiu um percentual de 15,0% ($1.876,4 \times 1,63 \times 15\%$). Assim, foi possível estimar uma produção anual de energia elétrica equivalente a 660.672 kWh/ano .

A Referida Instituição optou por instalar uma central fotovoltaica em suas instalações para que toda a energia gerada através da nova central fosse direcionada a suprir toda a demanda existente de um novo bloco da instituição. A opção foi utilizar a nova Norma regulatória n. 482 e assim estabelecer uma parceria

com a distribuidora local em regime de “troca” de energia, armazenando assim os “créditos energéticos” por um período de até 3 anos, conforme nova norma (*Vide in* anexo).

A Tabela 10 permite um melhor detalhamento da análise financeira e técnica do empreendimento, com ela é possível notar a viabilidade ou não do projeto. Os montantes descritos referem-se às inversões e aplicações de recursos, inicialmente aos gastos com a sua implementação física e posteriormente com o seu funcionamento efetivo.

Tabela 10 - Estudo de Viabilidade *Case II*

DADOS GERAIS	UNIDADE	
Classificação da Planta	Micro	
Potência da Planta	352,8	kWp
Potência de cada painel FV	245	Wp
Quantidade de painéis	1.440	Painéis
Insolação média diária	5,14	kWh/ m ² -dia
Eficiência da Fotoelétrica	15%	%
Produção elétrica específica	660.672	kWh/m ² -ano
Área painel Yingli Panda 250W	1,63	m ²
Produção elétrica anual por painel	458,8	kWh(E)/ano
Produção elétrica da Planta	660.672	kWh(E)/ano
Custo unitário da energia	0,600893	R\$/kWh
Economia financeira	396.993,38	R\$ /ano
Investimento total	1.975.680,00	R\$
R.O.I. (pay-back)	5,0	anos
TIR	67,0	%
Valor Presente Líquido (taxa de atratividade 10% ao ano)	798.214,54	R\$
Área necessária p/ instalação	2.347,2	m ²

Fonte: Autora, 2014.

O custo médio unitário do kWh apresentou um valor específico de 0,600893 R\$/kWh. Esta tarifa foi diferenciada, pois o case pertence ao setor educacional, não

fazendo parte do setor comercial. Sendo assim, este setor isenta-se obrigatoriamente de ICMS (Imposto sobre circulação de mercadorias e prestação de serviços), portanto as tarifas de energia são repassadas com o ICMS incluso. Ressalta-se que este valor foi cobrado da distribuidora local Pernambucana, a Celpe.

A Tarifação utilizada foi a Horo sazonal Azul – A4. Segundo a ANEEL (2005), As tarifas do “grupo A” são para consumidores atendidos pela rede de alta tensão, de 2,3 a 230 quilovolts (kV). A Tarifa Azul é aplicável obrigatoriamente às unidades consumidoras atendidas pelo sistema elétrico interligado, e com tensão de fornecimento igual ou superior a 69 kV (ANEEL, 2005).

Uma vez que a tarifa assumiu este valor, o estudo de viabilidade permitiu contabilizar uma economia financeira no valor de R\$ 396.993,38 /ano o que implica uma economia de energia referente a 660.672kWh/ano. A partir dos estudos realizados foi estimado um tempo de 5 anos (ROI) para que se tenha a recuperação do valor do investimento através dos benefícios líquidos – fluxo de caixa.

Para uma melhor análise segue a Tabela 11, onde se tem um detalhamento da viabilidade deste projeto sendo apoiado pela linha de financiamento BNB – FNE Verde:

Tabela 11 - Estudo de viabilidade Via Financiamento BNB – FNE Verde Case II.

VIABILIDADE VIA FINANCIAMENTO	
VALOR FINANCIADO (80%)	R\$ 1.580.544,00
CONTRAPARTIDA (20%)	R\$ 395.136,00
TAXA DE JUROS	6,70% a.a
PRAZO DO FINANCIAMENTO	12 anos
CARÊNCIA	1 ano
PRESTÂNCIA ANUAL	R\$ 221.549,68
RETORNO DE CAIXA	1,0 anos
TIR	67,0% a.a
VPL (Taxa atratividade = 15% a.a)	R\$ 798.214,54

Fonte: Elaboração Própria, 2014.

Neste case analisado o investimento inicial será no valor de R\$ R\$ 1.975.680,00 e o prazo de financiamento terá um período de 12 anos. Vale salientar

que a instituição entrará com uma contrapartida de 20% e o Banco do Nordeste (BNB), o restante.

Mazzucato (2014) acredita que as iniciativas governamentais em implantar políticas e instrumentos financeiros para estimular o desenvolvimento de mercados competitivos para a energia renovável, são essenciais para a revolução industrial verde.

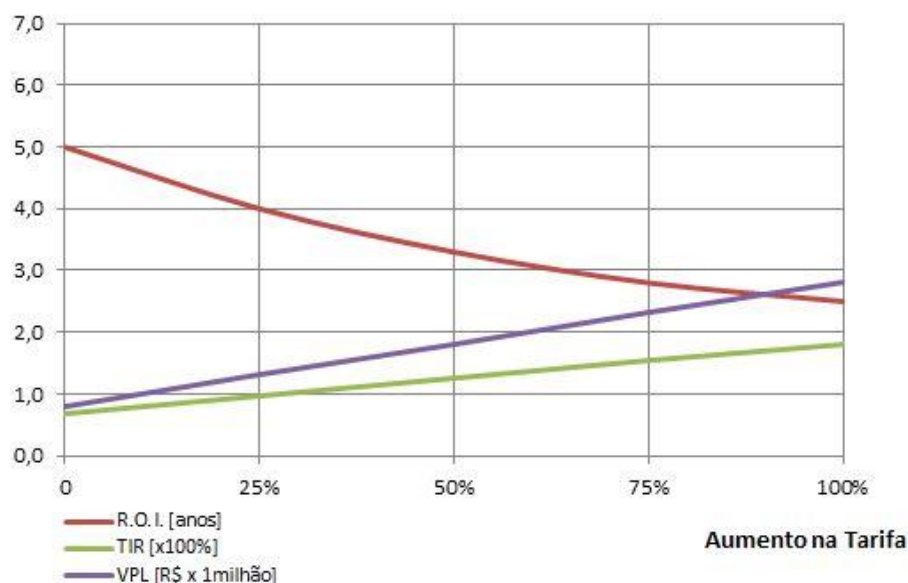
Verifica-se que as receitas geradas são no valor de R\$ 396.993,38. Resumindo, a economia financeira anual prevista será de R\$ 396.993,38. A partir do quinto ano já será possível ter um saldo em caixa superior às receitas geradas e dentro de um ano o saldo em caixa já será positivo.

A taxa de atratividade foi considerada a mesma em todos os casos analisados, ou seja, 15% a.a. A TIR neste caso apresentou-se bem superior à taxa mínima de atratividade confirmando a aceitabilidade e viabilidade do projeto.

Novamente, pode-se concluir pela viabilidade do projeto através do VPL tido em 798.214,54 permitindo não só cobrir o investimento, como também gerar a remuneração exigida pelo investidor, no caso, o custo de oportunidade.

Sendo assim, este investimento proporcionará a Instituição uma economia financeira anual no valor de 396.993,38; Economizando 660.672 kWh/ano em energia elétrica.

Figura 59 - Análise de Sensibilidade ao Aumento da Tarifa de Energia Elétrica Case II



Fonte: Elaboração Própria, 2015.

O mercado atualmente vive uma oscilação das tarifas, por isso a escolha da análise via sensibilidade. Percebe-se, com a Figura 58, que mesmo se a tarifa assumir um aumento de 100% o projeto ainda continuará sendo aceito e totalmente viável.

O Retorno do investimento seria mais rápido do que o esperado, além do fato de que a Taxa Interna de retorno assumiria valores aproximados de 181% e todos os valores do fluxo de caixa na data zero apresentaria o valor de R\$ 2,82 Milhões, dados estes que fazem confirmar a verdadeira Viabilidade do Projeto.

6.4 MINERADORA

E, por fim, o terceiro caso analisado, corresponde a uma indústria Mineradora fundada em 1985. Esta produz e comercializa derivados de calcário utilizando-o para diversos fins. Estrategicamente localizada, a Mineradora dispõe de reservas de calcário requeridas de qualidade comprovada, resultando numa excelente qualidade em seus produtos.

É importante enfatizar que a empresa tem focado em ações que valorizam o capital humano e a responsabilidade socioambiental dispondo de mais de 6.000 hectares de área com Manejo Sustentável da Caatinga, o que lhe garante autossuficiência e sustentabilidade através de uma matriz energética considerada renovável. Estes fatores colaboraram para a escolha da utilização deste sistema e desta tecnologia em seus processos produtivos.

O estudo foi realizado para uma central de 1Mwp. Ressalta-se que este é o valor máximo estipulado para que se caracterize como fazendo parte de uma central de geração distribuída Mini ou Micro, pois após a capacidade de 1 Mwp já seria considerada como usina. Sendo assim, para tal capacidade, estimou-se uma potência de pico de cada módulo equivalente a 265Wp, ou seja, para esta aplicação foram consideradas as características técnicas de painéis fotovoltaicos sendo os de silício Monocristalino. Sua eficiência de conversão solar/térmica costuma ser superior as demais, assumindo valor de 16,2%.

A insolação padrão considerada foi de 1000W/m², temperatura de 25°C, área útil de cada módulo sendo 1,63 m². Para implementação desta tecnologia, observar-se, de uma forma geral, de acordo com Freire (2011), que a escolha do módulo deve ser feita com base na sua eficiência, que deverá ser o quanto maior possível uma vez que ocuparão menos área e assim reduzirão os custos com estruturas, montagem e cabos.

Tabela 12 - Média de insolação anual na latitude de DixSept Rosado - RN. (kWh / m² / dia)

Lat -5.459	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
Lon -37.521													Average
22-year Average	5.74	5.83	5.51	5.38	5.26	5.07	5.40	6.09	6.51	6.61	6.31	6.01	5.80

Fonte: NASA, 2014.

Com dados das latitudes e longitudes da região, foi permitido verificar a insolação anual média estimada em 5,80 kWh o que conduziu a pesquisa a identificar uma projeção anual equivalente a $2.117,0 \text{ kWh/m}^2$ – ano. A eficiência de conversão sendo 16,2% conferiu uma geração estimada por módulo de aproximadamente 559,0 kWh/ano - módulo ($2.117,0 \times 1,63 \times 16,2\%$).

Os módulos que foram utilizados no estudo são produzidos igualmente na China: Yngli Panda, modelo YL265C-30b. Para suprir a necessidade da central de 1Mwp (1.000.000W) trabalhando com módulos de 265W, foram necessários introduzir 3.774 módulos. ($1.000.000\text{W} / 265\text{W}$). Com isso, a produção anual estimada de energia elétrica foi equivalente a 2.109.490,6 kWh/ano. A Tabela 13 permite um melhor detalhamento do Estudo de Viabilidade Técnico e Econômico realizado na Mineradora:

Tabela 13 - Estudo de Viabilidade Case III

DADOS GERAIS	UNIDADE	
Classificação da Planta	Mini	
Potência da Planta	1	Mwp
Potência de cada painel FV	265	Wp
Quantidade de painéis	3.774	Painéis
Insolação média diária	5,80	kWh/ m ² -dia
Eficiência da Fotoelétrica	16,2%	%
Produção elétrica específica	2.109.490,6	kWh/m ² -ano
Área painel Yngli Panda	1,63	m ²
Produção elétrica anual por painel	559,01	kWh(E)/ano
Produção elétrica da Planta	2.092.933,44	kWh(E)/ano
Custo unitário da energia	0,4500	R\$/kWh
Economia financeira anual	949.270,77	R\$ /ano
Investimento total	5.600.000,00	R\$
R.O.I. (pay-back)	5,9	anos
TIR	54,5	%
Valor Presente Líquido (taxa de atratividade 10% ao ano)	1.935.753,58	R\$
Área necessária p/ instalação	6.151,62	m ²

Fonte: Elaboração Própria.

A distribuidora escolhida foi a COSERN – RN. O custo médio unitário do kWh da apresentou um valor específico de 0,45 R\$/kWh. A Tarifação utilizada também foi a Horo sazonal Azul (A4). Uma vez que a tarifa assumiu este valor, o estudo de viabilidade permitiu contabilizar um montante de R\$ 5.600.000,00 para o investimento total da Central Fotovoltaica.

Sendo assim, foi estimado um tempo de 5 anos e 9 meses de ROI para se ter a recuperação do valor do investimento através dos benefícios líquidos – fluxo de caixa (Vide Anexos) gerados pela Mineradora

É notável que o governo venha estimulando o uso de fontes de energias renováveis. Uma das principais maneiras é através das linhas de financiamento e das novas normas vigentes no setor elétrico. Para se ter uma ideia, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (BNDES) brasileiro, aprovou um crédito de mais de 4,23 bilhões de dólares em 2011 para o financiamento de tecnologia limpa (FRIED, SHUKLA E SAWYER, 2012).

Para uma melhor compreensão, segue a Tabela 14 onde expõe alguns dados essenciais na tomada de decisão de um projeto, além de novamente mencionar os indicadores decisivos na análise de sua implantação.

Tabela 14- Estudo de viabilidade Via Financiamento BNDES - Fundo Clima Case III

VIABILIDADE VIA FINANCIAMENTO	
VALOR FINANCIADO (80%)	R\$ 4.480.000,00
CONTRAPARTIDA (20%)	R\$ 1.120.000,00
TAXA DE JUROS	1,10% a.a
PRAZO DO FINANCIAMENTO	10 anos
CARÊNCIA	1 ano
PRESTÂNCIA ANUAL	R\$ 531.335,94
RETORNO DE CAIXA	1,4 anos
TIR	54,5% a.a
VPL (Taxa atratividade = 15% a.a)	R\$ 1.935.753,58

Fonte: Elaboração Própria.

O BNDES é tido como o melhor Programa de Financiamento direcionado a projetos maiores ou iguais a R\$ 3milhões, esta linha de financiamento permite juros

baixíssimos. Satisfatoriamente, a taxa de juros acordada para a Mineradora foi de 1,1% a.a.

A partir dos estudos realizados, é possível perceber a viabilidade do projeto, pois este apresenta uma Taxa Interna de Retorno (TIR) estimada em 54,5%, o que compreende um valor bem maior do que a taxa de atratividade estabelecida. Este critério, como já citado anteriormente, é fundamental para tomada de decisões e a realização de projetos.

O Prazo de financiamento escolhido foi de 10 anos com 1 ano de carência, ou seja, a partir de menos de um ano e meio o saldo em caixa já estará positivo. Sendo que o ROI já pode ser sentido em 5,9 anos.

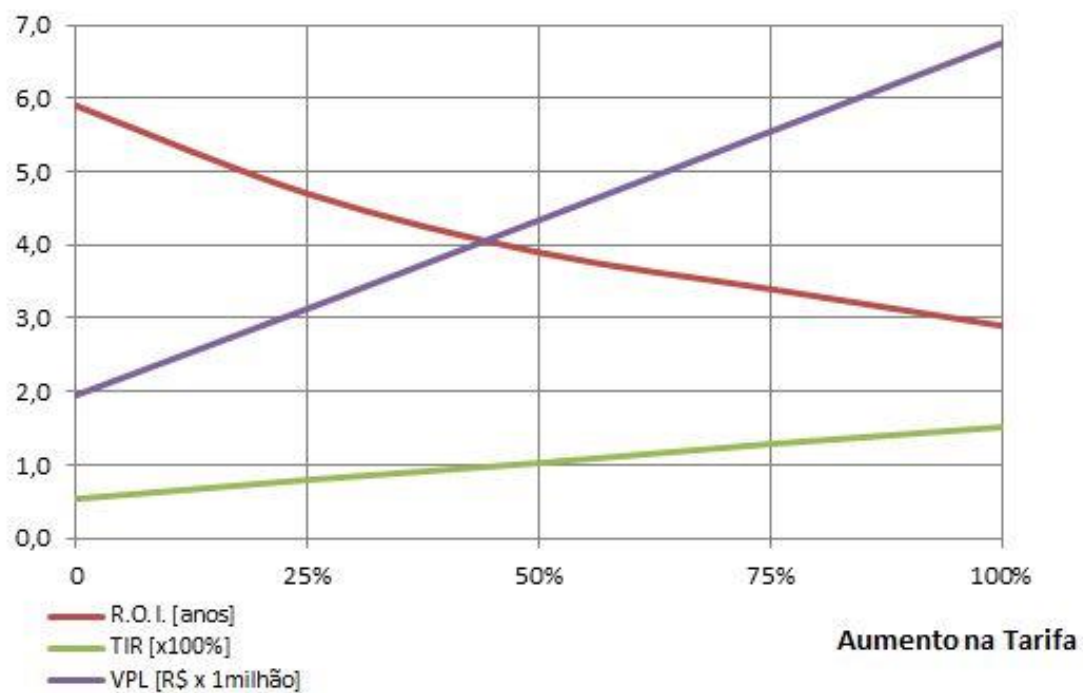
De fato será neste momento que o montante em caixa começará a assumir números maiores do que as receitas geradas. Sendo assim é possível afirmar que a economia financeira anual prevista nesta Mineradora compreenderá um montante específico de aproximadamente R\$949.270,77 ao ano, além de R\$2.109.490,6kWh/ano de energia.

A Taxa Média de Atratividade (TMA) foi considerada em 15% a.a, o que conclui-se a viabilidade do projeto, que tem a taxa interna de retorno bem superior à taxa mínima de atratividade, considerada.

O Valor Presente Líquido VPL assumiu o valor de R\$ 1.935.753,58 o que permite cobrir o investimento inicial que será de R\$ 1.120.000,00, bem como a Taxa Interna de Retorno foi superior à taxa mínima de atratividade, ou seja, confirmando mais uma vez a aceitabilidade e viabilidade do projeto.

O gráfico de Análise de Sensibilidade apresentado na Figura 59 permite uma ideia de que se atualmente o aumento da tarifa de energia elétrica aumentasse em 100% o que aconteceria. Os dados encontrados e analisados permitiram estimar que o Valor Presente Líquido seria de quase R\$ 7 Milhões, além de o tempo de retorno ser de 2 anos e 9 meses e a TIR (Taxa Interna de Retorno) assumir um percentual de 150,6%. Estes resultados novamente confirmam a viabilidade do Projeto.

Figura 60- Análise de Sensibilidade ao Aumento da Tarifa de Energia Elétrica Case III



Fonte: Elaboração Própria.

6.5 TABELA RESUMO DOS ESTUDOS

A Tabela 15 a seguir permite uma melhor visualização dos cases estudados:

Tabela 15 - Quadro resumo dos Cases I, II e III.

DADOS GERAIS	INDÚSTRIA DE CALÇADOS	INSTITUIÇÃO EDUCACIONAL	MINERADORA	UNIDADE
Classificação da Planta	Micro	Micro	Mini	—
Potência da Planta	117,6kWp	352,8kWp	1Mwp	--
Potência de cada painel FV	245Wp	245	265	Wp
Quantidade de painéis	480	1.440	3.774	Painéis
Insolação média diária	5,32	5,14	5,80	kWh/ m ² -dia
Eficiência da Fotoelétrica	15	15	16,2	%
Produção elétrica específica	227.890	660.672	2.109.490,6	kWh/m ² -ano
Área painel Yngli Panda	1,63	1,63	1,63	m ²
Produção elétrica anual por painel	474,8	458,8	559,01	kWh(E)/ano
Produção elétrica da Planta	227.890	660.672	2.092.933,44	kWh(E)/ano
Custo unitário da energia (Tarifa Verde)	0,45	0,600893	0,4500	R\$/kWh
Economia financeira	102.550,34	396.993,38	949.270,77	R\$ /ano
Investimento total	764.400,00	1.975.680,00	5.600.000,00	R\$
R.O.I. (pay-back)	7,5	5,0	5,9	anos
TIR	61,0	67,0	54,5	%
Valor Presente Líquido (taxa de atratividade 15% ao ano)	97.299,23	798.214,54	1.935.753,58	R\$
Área necessária p/ instalação	782,4	2.347,2	6.151,62	m ²

Fonte: Elaboração Própria.

7 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade da Mini e Micro geração da energia solar fotovoltaica no Nordeste do Brasil. Para que a compreensão dos resultados fosse adequada, foi necessário reforçar os conceitos de sucesso e maturidade no estudo de viabilidade e aplicação de projetos de eficiência energética, por isso, foram escolhidos critérios a fim de verificar se o sistema é viável ou não.

Para a análise foram estrategicamente escolhidos casos diferenciados, com distintas capacidades, analisando-os um a um, detalhando-os, como e de que maneira os diferentes setores escolhidos, se apresentou perante as novas resoluções normativas estabelecidas em 2012. Além dos preços estipulados da distribuidora local, porcentagem de juros de acordo com a escolha da via de financiamento e, sobretudo as características de irradiação solar do local escolhido. Os casos foram analisados nos estados de Pernambuco - PE, Paraíba – PB e Rio Grande do Norte. Contudo, conclui-se pelo atendimento do objetivo geral.

Antes de empreender a implantação física de um empreendimento, o investimento propriamente dito, é necessário realizar estudos para determinar a sua exequibilidade e economicidade, além de planejar sua execução, tomar decisões e antever resultados, por isso em todos os momentos da pesquisa considerou-se a metodologia escolhida tida como a mais pertinente e a que foi atribuída como relevante para alcançar o atendimento dos objetivos, tanto o geral, quanto os específicos.

O primeiro objetivo específico consistiu em pesquisar e analisar a aplicação de centrais fotovoltaicas em três estudos diferenciados: Indústria de Calçados (*Case I*), Serviço Educacional (*Case II*) e Indústria Mineradora (*Case III*). Foi possível observar nas pesquisas e análises realizadas no *Case I*, de como é possível impulsionar o uso e implantação desta tecnologia. Sendo, imperativo estudos como este.

Tratando-se de uma mini geração, foi exemplificada, uma nova maneira de suprir a demanda de energia elétrica da movimentação e suporte das empilhadeiras e transpaletas do processo de produção, via fonte Solar, tendo a oportunidade de implantar um sistema FV utilizando corrente contínua sem a necessidade de investimento em inversores.

Igualmente para os *cases II e III*, foram pesquisados e analisados a aplicação das centrais fotovoltaicas nos locais escolhidos, atendendo assim o primeiro objetivo específico. Ressalta-se que, nas últimas décadas, as turbinas eólicas e os painéis solares fotovoltaicos foram duas das tecnologias de energia renovável implantadas mais rapidamente em todo o planeta, provocando o surgimento de indústrias que se expandiram rápido em muitas regiões do mundo.

Estudos realizados recentemente indicaram que o uso da energia Solar Fotovoltaica no Brasil, especificamente da implantação de uma central Mini ou Micro de geração distribuída, já é economicamente viável.

O uso da análise de sensibilidade, juntamente com os aspectos econômicos e financeiros de aplicação de centrais fotovoltaicas, permitiu comprovar o quanto já é viável o investimento neste tipo de tecnologia. Para isso, indicadores de investimento foram utilizados e os dados, um a um, devidamente analisados. Contudo, concluiu-se que o segundo objetivo específico também foi atendido.

Na Tabela 16, é possível observar que atualmente já se trata de um investimento essencial para os setores de atividades contemplados, objetos de estudo desta pesquisa.

Tabela 16 - Conclusão dos EVTE's

<i>Case I</i>	<i>Case II</i>	<i>Case III</i>	VIABILIDADE
TIR 61%	TIR 67%	TIR 54,5%	SIM
TMA 15%	TMA 15%	TMA 15%	SIM
ROI 7,5 anos	ROI 5 anos	ROI 5,9 anos	SIM
VPL R\$ 92.299,23	VPL R\$ 798. 214,54	VPL R\$ 1.935,753,58	SIM

Fonte: Elaboração própria.

Na verdade, o panorama de incentivos é muito amplo e criativo, compreendendo uma combinação de diversos mecanismos. Assim, é possível observar que a utilização da energia solar ainda é dependente de vários aspectos do regulamento e política pública de natureza jurídica, institucional, cultural e ambiental.

O caminho para o Brasil avançar neste tipo de tecnologia vai além de normas regulatórias. De acordo com as resoluções ANEEL 482 e 481 é possível que o mercado energético via fonte solar atue em sua plenitude, de forma organizada, com regras claras e justas, garantindo assim um ambiente estável para investimentos.

Mas, para tal realização é necessário que toda a cadeia produtiva esteja articulada. E a cadeia de suprimentos da Energia Solar ainda é carente.

O cenário atual do Brasil em relação ao aproveitamento do potencial de energia solar está muito aquém do potencial disponível. Sendo assim, o Nordeste Brasileiro é uma potência no que se refere a índices de irradiação solar e de certa forma esta região é extremamente beneficiada desta riqueza.

O investimento em pesquisa, desenvolvimento e inovação é um dos fatores essenciais de maneira a atingir esse objetivo, pois abrange múltiplos aspectos de natureza legal, institucional, tecnológica, cultural, social, ambiental e econômica.

A implementação desta tecnologia nestas empresas trará lucratividade financeira, além de a Indústria aderir aos novos formatos de Produção Sustentável, tema extremamente importante para empresas que querem expandir-se e inovar-se no novo mercado competitivo e globalizado.

8 REFERÊNCIAS

ABICALÇADOS - Associação Brasileira das Indústrias de Calçados. **Boletim Informativo**, n.259, ano 23, fev. 2013. Disponível em: <<http://www.abicalcados.com.br/site/abinforma.php>>. Acesso em: 30. Out. 2014.

ADEME - Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie. **Efficacité énergétique dans l'Union européenne** : panorama des politiques et des bonnes pratiques. (2008). > <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=58124&p1=00&p2=08&ref=17597#> (Acessado em 17 de fev. 2013).

AMNH – American Museum of Natural History; **Linking Trees' Fibonacci Sequence to Solar Power Wins Student A Young Naturalist Award**; 2011; Disponível em: <<http://www.amnh.org/explore/news-blogs/news-posts/linking-trees-fibonacci-sequence-to-solar-power-wins-student-a-young-naturalist-award>>. Acesso em: 12 nov. 2013.

ANDREWS, G. **Market based instruments**: Australia's experience with trading renewable certificates. Workshop on Good Practices in policies and measures, 8-10 October, Copenhagen; 2001.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica; **Resolução Normativa Nº 482/12**; 2012.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica; **Resolução Normativa Nº 481/12**; 2012.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Ed.- Brasília: Cap.5- Outras Fontes, 2008.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Tarifas de fornecimento de energia elétrica / Agência Nacional de Energia Elétrica. - Brasília: ANEEL, 2005.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Ed.- Brasília: Cap.1- Energia no Brasil e no mundo, 2008.

BARBOSE, G.; DARGHOUTH, N.; WISER, R. **Tracking the Sun V An Historical Summary of the Installed Price of Photovoltaics in the United States from 1998 to 2011**. Berkeley, California: Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2012.

BAZILIAN, M. et al. **Re-considering the economics of photovoltaic power**. *Renewable Energy*, v. 53, p. 329–338, maio 2013.

BHANDARI R, Stadler I. **Grid parity analysis of solar photovoltaic systems in Germany using experiences curves**. *Solar Energy*, 83(9):1634 – 44;2009.

BRANKER K; Pearce JM. **Financial return for government support of large-escala thin-film solar photovoltaic manufacturing in Canadá**. *Energy Policy* ; 38(8): 4291-303.2010.

Brasil, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2013 – 2022**. Brasília: MME/EPE, 2013.

BORGES, L.C. **Estudo de viabilidade técnico econômica de geração de energia elétrica distribuída usando pequenos aerogeradores. Análise dos principais aspectos para ampliar a viabilidade**. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Mecânica. Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2009.

BROWN, L. R; **Eco – Economia**: construindo uma economia para a terra. Salvador: UMA. 368 p. 2003.

_____. **CADERNO DE ALTOS ESTUDOS**. Câmara dos Deputados, Conselho de Altos Estudos e Avaliação Tecnológica. **Energias renováveis**: Riqueza sustentável ao alcance da sociedade / relator:

Pedro Uczai ; equipe técnica: Wagner Marques Tavares (coord.), Alberto Pinheiro de Queiroz Filho [recurso eletrônico]. – Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2012.

CAMPELLO, Sérgio. **Energia Fotovoltaica**. Portal energias. Recife. 14 de Novembro de 2013. Disponível em <http://www.clubedeengenhariadepe.com.br/20131114fotovoltaico.ppt> (Acessado em Fevereiro de 2014).

CARLEY S. **State renewable energy electricity policies**: empirical evolution of effectiveness. *Energy Policy*; 37(8): 3071-81; 2009.

CARNEIRO, JOAQUIM. **Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos**. Universidade do Minho, Portugal, 2009.

CEF, **Canadian Energy Facts. Foreign Affairs and international Trade Canadá**. <http://www.international.gc.ca/enviro/energy-energie/facts-faits.aspx?lang=eng>; 2012 (acessado novembro de 2012).

CME, **Renewable Energy Projections**: 2009-2028. Carbon market economics. Pty Ltd., Austrália, 2009, <http://www.aemo.com.au/planning/419-0032.pdf>; 2009.

CRESEB/ CEPEL (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA S. S. BRITO), **Energia Solar: Princípios e Aplicações**. Disponível em: <www.cresesb.cepel.br>. Acesso em jul. 2004.

CME, **Renewable Energy Projections**: 2009-2028. Carbon market economics. Pty Ltd., Austrália, 2009, <http://www.aemo.com.au/planning/419-0032.pdf>; 2009.

CROOM, S. **Topic issues and methodological concerns for operations management research**. Eden Doctoral Seminar on Research Methodology in operations management. Bruxelas, 2005.

CGEE [Centro de Gestão e Estudos Estratégicos Ciência, Tecnologia e Inovação] Apoio integrado ao empreendedorismo. Programação FVA 2002–2003.

CGEE [Centro de Gestão e Estudos Estratégicos]. **Estudo Prospectivo em Energia Fotovoltaica** (Nota técnica). Brasília (DF): Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2009.

CGEE [Centro de Gestão e Estudos Estratégicos]. **Energia solar fotovoltaica no Brasil: subsídios para tomada de decisão**. Brasília (DF): Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

COGEN – Associação da Indústria de Cogeração de Energia. **Inserção da Energia Solar no Brasil**. Relatório final; São Paulo, Maio de 2012.

CORRÊA, M. P.; A Divulgação do Índice Ultravioleta como Prevenção ao Excesso de Exposição ao Sol: uma Contribuição **da Meteorologia para o Desenvolvimento de Políticas Públicas para a Saúde no País, 2003**.

DOMINGUES, M.; **Energia Solar: Geração Distribuída e Centralizada Puxam Alta Enquanto Isolada Segue em Maturidade no Brasil**; Disponível em: <<http://www.jornaldaenergia.com.br/blog/?p=182>> . Acesso em: 10 nov. 2013.

DYSON, F; **O Sol, o genoma e a internet**. Companhia as letras, SP. (2001).

DW BRASIL, <http://www.dw.de/produ%C3%A7%C3%A3o-de-energia-solar-na-alemanha-bate-recorde-em-2012/a-16492873> (Acessado em 21 de abril de 2013).

EDP. **Guia prático da eficiência energética**: O que saber e fazer para sustentar o futuro. Energias de Portugal, S.A. 2006.

ELKINS, P. **Step changes for decarbonising the energy system**: research needs for renewables, energy efficiency and nuclear power. *Energy Policy*; 32: 1891-904; 2004.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balanço Energético Nacional 2012**: Ano base 2011 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2012.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balanço Energético Nacional 2013**: Ano base 2012 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2013.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balanço Energético Nacional 2014**: Ano base 2013 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro; Maio de 2014.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Projeção da demanda de energia elétrica** para os próximos 10 anos (2014-2023) - Rio de Janeiro; Dezembro de 2013.

EPE. Empresa de pesquisa energética/ Nota técnica - **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro. Maio de 2012.

EPIA. **Global Market Outlook for Photovoltaics** 2013-2017. Brussels - Belgium: European Photovoltaic Industry Association, 2013.

EREC. **European Renewable Energy Council**: Renewable energy target for Europe – 20% by 2020. (Brief Paper, Brussel); 2005.

FERNÁNDEZ, L. et al. **Recycling Silicon Solar Cell Waste in Cement-Based System**; Solar Energy Materials & Solar Cells; 2011.

FLEISCHER, G. A. **Teoria da aplicação do capital** : um estudo das decisões de investimento. São Paulo: Edgard Blucher, 1988.

FREIRE; R. N. **Análise de viabilidade de Projectos de minigeração Fotovoltaica**. FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Dissertação realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major Energia. Portugal. Junho de 2011.

FRIEDMAN, D. J.; **Progress and Challenges for Next-Generation High-Efficiency Multijunctions Solar Cells**; Current Opinion in Solid State and Materials Science; EUA; 2010.

GALDINO, M. et al. **O Contexto das Energias Renováveis no Brasil**; Revista da Direng: Energias Renováveis.

GHENSEV, A.; **Materiais e Processos de Fabricação de Células Fotovoltaicas**; Universidade Federal de Lavras (UFLA); Monografia; 2006.

GREEN, M. et al. **Solar Efficiency Tables (Version 37)**; Progress in Photovoltaics Research and Applications; 2010.

GUIMARÃES, M. J. C.; **Comportamento de Células Solares Fotovoltaicas de Si-a em Campo e Sua Degradação**; Universidade Nova de Lisboa; Dissertação de Mestrado; 2010.

HASNAIN S.M; Elani U.A; Alawaji S.H; Abaoud H.A; Smial M.S. **Prospects and proposals for solar energy education program**. Apply Energy, 52: 307-14. 1995.

HAAS, R. **The value of photovoltaic electricity for utilities**. Solar Energy Materials and Solar Cells, v. 35, p. 421–427, 11 set. 1994.

ICMM. Conselho Internacional de Mineração e Metais Report. **O setor de mineração no Brasil: fortalecimento institucional para o desenvolvimento sustentável**. Mineração: Parcerias para o desenvolvimento. Abril de 2013.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **A remuneração dos investimentos em energia renovável no Brasil** – uma proposta metodológica ao benchmark da UNFCCC para o Brasil. Rio de Janeiro. Fevereiro de 2012.

KHALID A., JUNAIDI H. **Study of economic viability of photovoltaic electric power for Quetta – Pakistan**. Renewable Energy, Volume 50, Pages 253-258. February 2013.

KHAN MA, Latif N, **Environmental friendly solar energy in Paquistan's scenario renewable sustainable**. *Energy Review*; 14(8): 2179-81; 2010.

KISSEL M., Krauter S.C.W. **Adaptations of renewable energy policies to unstable macroeconomics situations – case study: wind power in Brazil**. *Energy Policy*; 34 (18):3591-8, 2006.

IEA, IEA-PVPS, **Trends in photovoltaic applications**. Survey Report of Selected IEA Countries between 1992 and 2007; 2008. IEA — International Energy Agency. **Solar Roadmap Targets**, 2009.

IEA — International Energy Agency. **Deploying Renewables**, 2009.

IEA. International Energy Agency . **Technology Roadmaps. Smart grids**. France, 2011. In: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/smartgrids_roadmap.pdf Acesso em Agosto de 2014.

LAU LC, Tan KT, Mohamed AR. **A comparative study on the energy policies in Japan and Malasya in fulfilling their nations obligations towards the Kyoto Protocol**. *Energy Policy*; 37(11); 4771-8; 2009.

LEONARD –BARTON, D. **A dual methodology for sase studies: synergistic use of longitudinal single site with replicated multiple sites**. *Organization Science*, v.1, n. 3; p. 248 – 266, 1990.

LEITE, D. R. Viana. **Medidores Eletrônicos: Análise De Viabilidade Econômica No Contexto Das Redes Inteligentes [Distrito Federal]**. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Elétrica, 2013.

LIMING H, Haque E; Barg S; **Public policy discourse, planning and measures toward sustainable energy strategies in Canada**. *Renewable Sustainable Energy Rev*;12 (1)91-115; 2008.

LIPINSKY M. et al. **Solar Energy Mater**; Solar Cells 72; 2002.

LIU L-Q, Wang Z-X, Zhang H-Q, Xue Y-C. **Solar energy development in china- a review**. *Renewable sustainable energy rev*; 14; 301-11; 2010.

LUIGI D, Enrico T. **Economic analysis of different supporting policies for the productions of electrical energy by solar photovoltaics in western European Union countries**. *Energy Policy*; 38(7): 3297-308; 2010.

MARTINS, Maria de Fátima; CÂNDIDO, Gesinaldo Ataíde. **Índice de desenvolvimento sustentável para municípios: uma proposta metodológica de construção e análise**. 2011. Disponível em: <http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/ix_en/GT2-321-213-20110620202017.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2012.

MAZZUCATO, Mariana. **O Estado empreendedor: desmascarando o mito do setor público vs.setor privado**; tradução Elvira Serapicos. – 1º ed. – São Paulo: Portfolio – Penguin, 2014.

MME. Ministério de Minas e Energia – disponível em www.mme.gov.br

MELO, (et al) **Análise Da Eficiência Energética Na Indústria – Proposta De Metodologia**, Vi National Congress Of Mechanical Engineering August 18 – 21, Campina Grande – Paraíba – Brazil, 2010.

MIGUEL, Paulo A. (coord.) **Metodologia de Pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier; ABEPRO, 2010.

MIRANDA, R; F; C. **Análise da inserção de geração distribuída de energia solar fotovoltaica no setor residencial brasileiro** / Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Elétrica, 2012. Tese de Mestrado; Raul Figueiredo Carvalho Miranda – rio de janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.

MOEHLECKE, A.; ZANESCO, I.; **Caminhada Rumo ao Sol: Dez Anos de Pesquisa em Energia Solar na PUCRS**; Disponível em: <<http://www.pucrs.br/edipucrs/online/inovacaoeigualdade/inovacao/pag24.html>>. Acesso em: 11 nov. 2013.

MUNEER T, ASIF M, MUNAWWAR S. **Sustainable production of solar electricity with particular reference to the Indian economy**. *Renewable Sustainable Energy Rev*; 9:444–73. 2005.

NAKAJIMA, K. et al. **Solar Cells System Using a Polished Concave Si-Crystal Mirror**; Solar Energy Materials & Solar Cells; 2005.

NASCIMENTO, C. A.; **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**; Universidade Federal de Lavras (UFLA); Monografia; 2004

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY – NREL. Disponível em:<www.nrel.gov/ncpv>. Acesso em Dez. 2012.

OB TH, Pang SY, Chua SC. **Energy policy and alternative energy in Malaysia: issues and challenges for sustainable growth**. *Renewable Sustainable Energy Rev*;14 (4);1241-52; 2010.

OLIVEIRA, J. A. N. **Engenharia econômica: uma abordagem as decisões de investimento**. São Paulo: McGraw-Hill, 1982.

OLIVEIRA, E. S.de. Bechara, M. **Geração de Energia Fotovoltaica**. Prêmio Destaque 2014. Categoria Meio Ambiente. Arena Pernambuco. Odebrecht Properties. Brasil, 2014.

PLAN S. **Australian government department of climate change of energy efficiency**; 2010.

PERLOTTI, E. et al. **Propostas para a Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira**; Estudo do grupo setorial de sistemas fotovoltaicos da Abinee; 2012.

PROCEL. **Energia elétrica: conceito, qualidade e tarifação: guia básico** / Eletrobrás [et al.]. Brasília : IEL/NC, 2008. 127 p : il. 2009.

Projeto “A carta do sol”. Relatório técnico. **Subsídios para o planejamento da promoção da energia solar fotovoltaica no brasil**. rio de janeiro, 19 de agosto de 2011.

PROENÇA, F. P.; **Tecnologia para Texturização Hemisférica Suave de Células Solares Fotovoltaicas**; Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG); Dissertação de Mestrado; 2007.

RUTHER, R. et. al.; **Relatório Estádios Solares** — Opção Sustentável para a Copa 2014 no Brasil. UFSC, Instituto IDEAL. Brazilian-German Energy program, GTZ, 2010.

REIS, Lineu Belico dos. **Energia elétrica e sustentabilidade: aspectos tecnológicos, socioambientais e legais/ Lineu Belico dos Reis, Eldis Camargo Neves da Cunha**. – Barueri, SP: Manole – Coleção Ambiental; 2006.

REN 21. Energy Policy Network For the 21st Century; **Global Status Report**; 2011.

REN21. Energy Policy Network For the 21st Century. **Global Status Report**; 2012.

SALVIANO, CJ.C. **Eletrificação rural a partir da tecnologia fotovoltaica**. Eletricidade Modernas. São Paulo, n. 327, p. 184-200,jun. 2001.

SARAH JB, Lan HR. **Nodal pricing in Otário, Canadá:** implications for solar PV electricity. *Renewable Energy*; 34: 170-8; 2009.

SILVA; F.G.R; **Análise e levantamento da composição tarifária brasileira.** Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ); Cooperação Alemã. Fev. 2013.

SINERGIA. http://www.sinenergia.com.br/?page_id=29 < Acesso em 12 de novembro de 2013.>.

SILVA, R. M. da. **Um Modelo para Análise da Sustentabilidade de Fontes Elétricas** – Tese de doutorado em Administração, da Universidade Federal de Pernambuco, CCSA, Programa de Pós Graduação em Administração – PROPAD, Recife, 2011.

SACHT, H. et al. **Eficiência Energética de Fachadas Fotovoltaicas Destinadas à Diferentes Latitudes de Portugal**; XIV Encontro Nacional de Tecnologia de Ambiente Construído; Juiz de Fora; 2012.

SCHETTINO, S. **Cenários do uso das redes elétricas inteligentes (smart grid):** tendências de sua difusão no Brasil. / Stevon Schettino – Dissertação do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção - João Pessoa: UFPB, 2013.

SHEIKH MA, **Renewable energy resource potencial in Pakistan.** *Renewable Sustainable Energy Rev*; 13(9): 2696-702; 2009.

SOLANGI K.H; Islam M.R; Saidur R; Rahim NA; Fayaz H. **A review on global solar energy policy.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15: 2149-2163, 2011.

SOUZA, R. **Case research in operations management.** Ecen Doctoral Seminar on research methodology in operations management. Bruxelas, 2005.

THOMSON, A. **Entrepreneurship and business innovation: the art of successful business start-ups and business planning.** Perth, Australia: Murdoch Business School, 2005

TSOUTOS, T, Frantzeskaki N, Gekas V. **Environmental impacts from the solar energy Technologies.** *Energy Policy*. 33(3): 289-96, 2005.

VALENTINE S. **Braking wind in Australian: a critical evaluation of the renewable energy target.** *Energy Policy*; 38(7): 3668-75; 2010.

VARUN, A. PRAKASH, Ravi. BHAT, Inder Krishnan. **Energy, economics and environmental impacts of renewable energy systems.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 2716–2721. 2009.

VIANA, T. S; Ruther; R; Martins F. R; Pereira, E.B. **Assessing the potencial of concetrating solar photovoltaic generation in Brazil with satélite- derived direct normal irradiation.** *Solar Energy*, v.85; p.486-495, 2011.

VIEIRA, Sonia. **Como escrever uma tese.** 6. Ed. – São Paulo, 2008.

WANG, Q. **Effective policies for renewable energy** – the example of China's wind power- lesson for China's photovoltaic power. *Renewable Sustainable Energy Rev*; 14(2): 702-12; 2010.

WEISZ, Joel. **Projetos de inovação tecnológica: planejamento, formulação, avaliação, tomada de decisões** / Joel Weisz. – Brasília: IEL, 2009.

WEO. **World Energy Outlook**, 2013.

WEO. **World Energy Outlook, 2012. Presentation to the press London, 12 november 2012.**><http://www.worldenergyoutlook.org/pressmedia/recentpresentations/PresentationWE O2012launch.pdf>> Acesso em 23 de abril 2013.

9 SITES CONSULTADOS

Abraceel. In: http://www.abraceel.com.br/zpublisher/secoes/mercado_livre.asp?m_id=19150 > acesso em julho de 2014.

Abradee. In: <http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/tarifas-de-energia/tarifas-de-energia> > acesso em agosto de 2014.

Atriaenergy. <http://atriaenergy.com.br> >acesso em abril de 2014.

cat-lift. http://www.cat-lift.com/_cat/index.cfm/latin-america/spanish/productos/montacargas/clase-iii-patines-electricos-y-manuales/montacargas-de-a-pie-con-plataforma-para-20-t > acesso em agosto de 2014.

Célula Solar Bate Recorde Mundial com 44,7 % de Eficiência; Disponível em: < <http://www.INOVACAOTECNOLOGICA.com.br/noticias/noticia.php?artigo=recorde-mundial-celula-solar>>. Acesso em: 12 nov. 2013.

IBGE. In: <http://www.ibge.gov.br> > acesso em agosto de 2014.

MME. ministério minas e energia. in: <http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/> >acesso em setembro de 2014.

Mineirão Tem Usina Fotovoltaica em Sua Cobertura; Disponível em: < <http://www.ABRAVIDRO.org.br/blog/?p=2480>>. Acesso em 11 nov. 2013.

Nasa. In: <https://eosweb.larc.nasa.gov>

Odebrecht energia. In: <http://www.odebrechtenergia.com.br/pt-br/imprensa/noticias/odebrecht-energia-e-neoenergia-implantacao-energia-solar-na-arena-pernambuco> > acesso em julho de 2014.

SINERGIA. In: http://www.sinenergia.com.br/?page_id=29

Usina Solar da Itaipava Arena Pernambuco Gerará Energia Elétrica a Partir de Julho; Disponível em: < <http://www.ITAIPAVAARENAPERNAMBUCO.com.br/pt/noticias/arena-pernambuco/2013/05/28/NWS,1986,15,103,PT,2294-USINA-SOLAR-ITAIPAVA-ARENA-PERNAMBUCO-GERARA-ENERGIA-PARTIR-JULHO.aspx>>. Acesso em: 11 nov. 2013.

10 ANEXOS

10.1 RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012

Estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

O DIRETOR - GERAL DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, no uso de suas atribuições regimentais, de acordo com deliberação da Diretoria, tendo em vista o disposto na Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, no art. 4º, inciso XX, Anexo I, do Decreto nº 2.335, de 6 de outubro de 1997, na Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, na Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, no Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004, o que consta no Processo nº 48500.004924/2010-51 e considerando:

As contribuições recebidas na Consulta Pública nº 15/2010, realizada por intercâmbio documental no período de 10 de setembro a 9 de novembro de 2010 e;

As contribuições recebidas na Audiência Pública nº 42/2011, realizadas no período de 11 de agosto a 14 de outubro de 2011, resolve:

CAPÍTULO I

DAS DISPOSIÇÕES PRELIMINARES

Art. 1º Estabelecer as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica. .

Art. 2º Para efeitos desta Resolução ficam adotadas as seguintes definições:

I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados, desde que possua o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda.

CAPÍTULO II

DO ACESSO AOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

Art. 3º As distribuidoras deverão adequar seus sistemas comerciais e elaborar ou revisar normas técnicas para tratar do acesso de microgeração e minigeração distribuída, utilizando como referência os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, as normas técnicas brasileiras e, de forma complementar, as normas internacionais.

§1º O prazo para a distribuidora efetuar as alterações de que trata o caput e publicar as referidas normas técnicas em seu endereço eletrônico é de 240 (duzentos e quarenta) dias, contados da publicação desta Resolução.

§2º Após o prazo do § 1º, a distribuidora deverá atender às solicitações de acesso para microgeradores e minigeradores distribuídos nos termos da Seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST.

Art.4º Fica dispensada a assinatura de contratos de uso e conexão na qualidade de central geradora para a microgeração e minigeração distribuída que participe do sistema de compensação de energia elétrica da distribuidora, nos termos do Capítulo III, sendo suficiente a celebração de Acordo Operativo para os

minigeradores ou do Relacionamento Operacional para os microgeradores. (Redação dada pela REN ANEEL 517, de 11.12.2012.)

§1º A potência instalada da microgeração ou minigeração distribuída participante do sistema de compensação de energia elétrica fica limitada à carga instalada, no caso de unidade consumidora do grupo B, ou à demanda contratada, no caso de unidade consumidora do grupo A.

Art. 5º Quando da conexão de nova unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída, ou no caso do §2º do art. 4º, aplicam-se as regras de participação financeira do consumidor definidas em regulamento específico.

Parágrafo único. Os custos de eventuais ampliações ou reforços no sistema de distribuição em função exclusivamente da conexão de microgeração ou minigeração distribuída participante do sistema de compensação de energia elétrica não deverão fazer parte do cálculo da participação financeira do consumidor, sendo integralmente arcados pela distribuidora.

CAPÍTULO III

DO SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Art. 6º O consumidor poderá aderir ao sistema de compensação de energia elétrica, observadas as disposições desta Resolução.

§1º Para fins de compensação, a energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora, será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 36 (trinta e seis) meses.

§2º A adesão ao sistema de compensação de energia elétrica não se aplica aos consumidores livres ou especiais.

Art. 7º No faturamento de unidade consumidora integrante do sistema de compensação de energia elétrica deverão ser observados os seguintes procedimentos:

I - deverá ser cobrado, no mínimo, o valor referente ao custo de disponibilidade para o consumidor do grupo B, ou da demanda contratada para o consumidor do grupo A, conforme o caso.

II - o consumo de energia elétrica ativa a ser faturado é a diferença entre a energia consumida e a injetada, por posto tarifário, quando for o caso, devendo a distribuidora utilizar o excedente que não tenha sido compensado no ciclo de faturamento corrente para abater o consumo medido em meses subsequentes.

III - caso existam postos tarifários e a energia ativa injetada em um determinado posto tarifário seja superior à consumida, a diferença deverá ser utilizada para compensação em outros postos tarifários dentro do mesmo ciclo de faturamento, devendo ser observada a relação entre os valores das tarifas de energia – TE, conforme definição da Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010, se houver.

IV - os montantes de energia ativa injetada que não tenham sido compensados na própria unidade consumidora poderão ser utilizados para compensar o consumo de outras unidades previamente cadastradas para esse fim e atendidas pela mesma distribuidora, cujo titular seja o mesmo da unidade com sistema de compensação de energia elétrica, possuidor do mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda.

V - o consumidor deverá definir a ordem de prioridade das unidades consumidoras participantes do sistema de compensação de energia elétrica, devendo a unidade consumidora onde se encontra instalada a geração ser a primeira a ter seu consumo compensado.

VI - em cada unidade consumidora participante do sistema de compensação de energia elétrica, a compensação deve se dar primeiramente no posto tarifário em que ocorreu a geração e, posteriormente, nos demais postos tarifários, devendo ser observada a relação entre os valores das tarifas de energia – TE para diferentes postos tarifários de uma mesma unidade consumidora, conforme definição da Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010, se houver.

VII - os créditos de energia ativa resultantes após compensação em todos os postos tarifários e em todas as demais unidades consumidoras, conforme incisos II a VI, expirarão 36 (trinta e seis) meses após a data do faturamento e serão revertidos em prol da modicidade tarifária sem que o consumidor faça jus a qualquer forma de compensação após esse prazo.

VIII - eventuais créditos de energia ativa existentes no momento do encerramento da relação contratual do consumidor serão revertidos em prol da modicidade tarifária sem que o consumidor faça jus a qualquer forma de compensação.

IX - a fatura deverá conter a informação de eventual saldo positivo de energia ativa para o ciclo subsequente em quilowatt-hora (kWh), por posto tarifário, quando for o caso, e também o total de créditos que expirarão no próximo ciclo.

X - os montantes líquidos apurados no sistema de compensação de energia elétrica serão considerados no cálculo da sobrecontratação de energia para efeitos tarifários, sem reflexos na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE, devendo ser registrados contabilmente, pela distribuidora, conforme disposto no Manual de Contabilidade do Serviço Público de Energia Elétrica.

XI - Para as unidades consumidoras atendidas em tensão primária com equipamentos de medição instalados no secundário dos transformadores deverá ser deduzida a perda por transformação da energia injetada por essa unidade consumidora, nos termos do art. 94 da Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010.

Parágrafo único. Aplica-se de forma complementar as disposições da Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010, relativas aos procedimentos para faturamento.

CAPÍTULO IV

DA MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Art. 8º Os custos referentes à adequação do sistema de medição, necessário para implantar o sistema de compensação de energia elétrica, são de responsabilidade do interessado.

§1º O custo de adequação a que se refere o caput é a diferença entre o custo dos componentes do sistema de medição requerido para o sistema de compensação de energia elétrica e o custo do medidor convencional utilizado em unidades consumidoras do mesmo nível de tensão.

§2º O sistema de medição deve observar as especificações técnicas do PRODIST e ser instalado pela distribuidora, que deve cobrar dos interessados o custo de adequação.

§ 3º O sistema de medição deve ser registrado no ativo imobilizado em serviço, devendo a parcela de responsabilidade de o interessado ser contabilizada em contrapartida do Subgrupo Obrigações Vinculadas à Concessão do Serviço Público de Energia Elétrica.

Art. 9º Após a adequação do sistema de medição, a distribuidora será responsável pela sua operação e manutenção, incluindo os custos de eventual substituição ou adequação.

Art. 10 A distribuidora deverá adequar o sistema de medição dentro do prazo para realização da vistoria e ligação das instalações e iniciar o sistema de compensação de energia elétrica assim que for aprovado o ponto de conexão, conforme procedimentos e prazos estabelecidos na seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST.

CAPÍTULO V

DAS RESPONSABILIDADES POR DANO AO SISTEMA ELÉTRICO

Art. 11. Aplica-se o estabelecido no caput e no inciso II do art. 164 da Resolução Normativa nº 414 de 9 de setembro de 2010, no caso de dano ao sistema elétrico de distribuição comprovadamente ocasionado por microgeração ou minigeração distribuída incentivada.

Art.12. Aplica-se o estabelecido no art. 170 da Resolução Normativa nº 414, de 2010, no caso de o consumidor gerar energia elétrica na sua unidade consumidora sem observar as normas e padrões da distribuidora local.

Parágrafo único. Caso seja comprovado que houve irregularidade na unidade consumidora, nos termos do caput, os créditos de energia ativa gerados no respectivo período não poderão ser utilizados no sistema de compensação de energia elétrica.

CAPÍTULO VI

DAS DISPOSIÇÕES GERAIS

Art.13. Compete à distribuidora a responsabilidade pela coleta das informações das unidades geradoras junto aos micro geradores e mini geradores distribuídos e envio dos dados constantes nos Anexos das Resoluções Normativas nos 390 e 391, ambas de 15 de dezembro de 2009, para a ANEEL.

Art.14. Ficam aprovadas as revisões 4 do Módulo 1 – Introdução, e 4 do Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição, do PRODIST, de forma a contemplar a inclusão da Seção 3.7 – Acesso de Micro e Minigeração Distribuída com as adequações necessárias nesse Módulo.

Art. 15. A ANEEL irá revisar esta Resolução em até cinco anos após sua publicação.

Art. 16. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

NELSON JOSÉ HÜBNER MOREIRA

10.2 RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 481, DE 17 DE ABRIL DE 2012

Altera a Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004

O DIRETOR-GERAL DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, no uso de suas atribuições regimentais, de acordo com deliberação da Diretoria, tendo em vista o disposto na Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, com base no art. 4º, inciso XX, Anexo I, do Decreto nº 2.335, de 6 de outubro de 1997, na Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, na Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, no Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004, o que consta no Processo nº 48500.004924/2010-51, e considerando:

As contribuições recebidas na Consulta Pública nº 15/2010, realizada no período de 10/09/2010 a 9/11/2010 e

as contribuições recebidas na Audiência Pública nº 42/2011, realizadas no período de 11 de agosto de 2011 a 14 de outubro de 2011, resolve:

Art. 1º Alterar a Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004, que passa a vigorar acrescida do seguinte art. 3º-A:

“Art. 3º-A Para a fonte solar referida no art. 1º fica estipulado o desconto de 80% (oitenta por cento), para os empreendimentos que entrarem em operação comercial até 31 de dezembro de 2017, aplicável nos 10 (dez) primeiros anos de operação da usina, nas tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição – TUST e TUSD, incidindo na produção e no consumo da energia comercializada.

§1º O desconto de que trata o caput, será reduzido para 50% (cinquenta por cento) após o décimo ano de operação da usina. **§2º** Os empreendimentos que entrarem em operação comercial após 31 de dezembro de 2017 farão jus ao desconto de 50% (cinquenta por cento) nas referidas tarifas.” **Art. 2º** Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

NELSON JOSÉ HÜBNER MOREIRA

10.3 TABELA FLUXO DE CAIXA CASE I

Tabela 17 - Fluxo de Caixa Case I

ANO	DESPESAS	RECEITAS	SALDO	CAIXA
0	(76.440,00)	-	(76.440,00)	(76.440,00)
1	-	102.550,34	102.550,34	26.110,34
2	(90.378,12)	102.550,34	12.172,22	38.282,56
3	(90.378,12)	102.550,34	12.172,22	50.454,78
4	(90.378,12)	102.550,34	12.172,22	62.627,01
5	(90.378,12)	102.550,34	12.172,22	74.799,23
6	(90.378,12)	102.550,34	12.172,22	86.971,45
7	(90.378,12)	102.550,34	12.172,22	99.143,67
8	(90.378,12)	102.550,34	12.172,22	111.315,89
9	(90.378,12)	102.550,34	12.172,22	123.488,11
10	(90.378,12)	102.550,34	12.172,22	135.660,33
11	(90.378,12)	102.550,34	12.172,22	147.832,55
12	(90.378,12)	102.550,34	12.172,22	160.004,78
13	-	102.550,34	102.550,34	262.555,12
14	-	102.550,34	102.550,34	365.105,46
15	-	102.550,34	102.550,34	467.655,80

Fonte: Autora, 2015.

10.4 TABELA FLUXO DE CAIXA CASE II

Tabela 18 - Fluxo de caixa Case II

ANO	DESPESAS	RECEITAS	SALDO	CAIXA
0	(395.136,00)	-	(395.136,00)	(395.136,00)
1	-	396.993,38	396.993,38	1.857,38
2	(221.549,68)	396.993,38	175.443,70	177.301,09
3	(221.549,68)	396.993,38	175.443,70	352.744,79
4	(221.549,68)	396.993,38	175.443,70	528.188,49
5	(221.549,68)	396.993,38	175.443,70	703.632,19
6	(221.549,68)	396.993,38	175.443,70	879.075,90
7	(221.549,68)	396.993,38	175.443,70	1.054.519,60
8	(221.549,68)	396.993,38	175.443,70	1.229.963,30
9	(221.549,68)	396.993,38	175.443,70	1.405.407,00
10	(221.549,68)	396.993,38	175.443,70	1.580.850,71
11	(221.549,68)	396.993,38	175.443,70	1.756.294,41
12	(221.549,68)	396.993,38	175.443,70	1.931.738,11
13	-	396.993,38	396.993,38	2.328.731,49
14	-	396.993,38	396.993,38	2.725.724,88
15	-	396.993,38	396.993,38	3.122.718,26

Fonte: Autora, 2015.

10.5 TABELA FLUXO DE CAIXA CASE III

Tabela 19 - Tabela Fluxo de caixa Case III

ANO	DESPESAS	RECEITAS	SALDO	CAIXA
0	(1.120.000,00)	-	(1.120.000,00)	(1.120.000,00)
1	-	949.270,77	949.270,77	(170.729,23)
2	(531.335,94)	949.270,77	417.934,83	247.205,60
3	(531.335,94)	949.270,77	417.934,83	665.140,43
4	(531.335,94)	949.270,77	417.934,83	1.083.075,25
5	(531.335,94)	949.270,77	417.934,83	1.501.010,08
6	(531.335,94)	949.270,77	417.934,83	1.918.944,91
7	(531.335,94)	949.270,77	417.934,83	2.336.879,74
8	(531.335,94)	949.270,77	417.934,83	2.754.814,57
9	(531.335,94)	949.270,77	417.934,83	3.172.749,40
10	(531.335,94)	949.270,77	417.934,83	3.590.684,22
11	-	949.270,77	949.270,77	4.539.954,99
12	-	949.270,77	949.270,77	5.489.225,76
13	-	949.270,77	949.270,77	6.438.496,53
14	-	949.270,77	949.270,77	7.387.767,30
15	-	949.270,77	949.270,77	8.337.038,07

Fonte: Autora, 2015.

